

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



Monografía para optar al título de Ingeniero Químico

Evaluación de la capacidad de absorción del carbón activado a partir de la vaina de malinche para la remoción de plomo en agua sintética a nivel de laboratorio.

Br. Báez Ruiz, Erwin Joel

Tutor: López Valerio, Danilo

Managua, Nicaragua
Diciembre, 2011

AGRADECIMIENTO.

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una tesis es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con aquellas personas que me apoyaron para seguir adelante, expresándoles mis agradecimientos.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Profesor Dr. Danilo López Valerio por aceptarme para realizar esta tesis monográfica bajo su dirección, su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como investigador.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Ing. Químico Eduard Enock Mendieta por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis y al Ing. Químico Wendell Selaxsa por su aporte en la consultaría analítica. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia. No cabe duda que la participación de cada uno ha enriquecido el trabajo realizado y además ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

“Nadie comete mayor error que quien no hace nada porque solo podía hacer poco.”

Edmund Burke (1729-1797).

DEDICATORIA.

A Díos.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor y darme la oportunidad de crecer como persona y valorar las cosas que se me han otorgado y por darme una familia que me enseñó a ser un joven con valor.

A mi madre Guadalupe Ruíz Uriarte.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis Hermanas.

A mis hermanas Yashica Báez Ruíz y Mayling Báez Ruíz y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

A la Universidad Nacional de Ingeniería y en especial a la Facultad de Ingeniería Química por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

RESUMEN.

La presente investigación se realizó en el laboratorio de química de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), con el propósito de evaluar la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de la vaina de malinche mediante la técnica de adsorción para la determinación de plomo en agua sintética. Los parámetros utilizados para la obtención y activación de la vaina de malinche fueron propuestos en la tesis “Estudio de la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de la semilla de nancite para la remoción de arsénico en aguas de pozos con alto contenido de arsénico” del Ingeniero Químico Enock Mendieta (2008).

Se estudió la capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido a partir de la vaina de malinche, donde se utilizó un carbón activado comercial como referencia para los ensayos.

En este estudio se le aplicó al carbón el proceso de activación química con NaOH (0.5 M) carbonizándolo a una temperatura de 250°C durante una hora por consiguiente ocurre una adsorción química.

La caracterización se realizó mediante análisis fisicoquímicos (porcentaje de cenizas, porcentaje de humedad) según las normas ASTM D2866-83 (determinación del contenido total de cenizas en carbón activado), ASTM D2867-99 (determinación del contenido de humedad) dando un porcentaje de cenizas del 4.45% y un porcentaje de humedad del 4.49% en el carbón activado de malinche.

Se obtuvieron las Isotermas de adsorción para ambos carbones activados donde se ajustaron satisfactoriamente al modelo de Freundlich indicando que el carbón activado a partir de la vaina de malinche es un buen adsorbedor del metal, plomo.

INDICE DE CONTENIDO.

Agradecimiento	I
Dedicatoria	II
Resumen	III
Tabla de contenido.	IV-VII
Lista de Tablas	VIII
Lista de Figuras	IX
1.1 Introduccion	10-11
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivo General	12
1.2.2 Objetivos Especificos	12
2 Marco Teorico.	13
2.1 Arbol de Malinche	13
2.2 Carbón	14
2.3 Carbón Activado	15
2.3.1 Estructuras y Propiedades del carbón activado	16
2.3.2 Rango de valores para algunas propiedades del carbón activados	17
2.3.3 Tipos de carbón según su origen	17-18
2.3.4 Características Fisicoquimicas	19
2.3.4.1 Composición Química	19
2.3.4.2 Composición Física	19
2.3.4.3 Tamaño de poros	19-20
2.4 Adsorción en fase liquida	21
2.5 Aplicaciones del carbón activado	22-23

2.6	Métodos para la activación del carbón activado	24
2.6.1	Activación Térmica	24
2.6.2	Activación Química	24
2.7	Adsorción	25
2.7.1	Tipos de adsorción	26
2.7.1.1	Fisisorción o adsorción física	26
2.7.1.2	Quimisorción o adsorción química	26
2.7.1.3	Adsorción de soluciones diluidas	27
2.8	Parámetros que influyen sobre las propiedades de adsorción	28
2.9	Isotermas de adsorción	29-30
2.9.1	Ecuación de Freundlich	31
2.9.2	Ecuación de Langmuir	32
2.10	Metales pesados	33
2.10.1	Fuentes de metales pesados	33
2.10.2	Plomo	34
2.10.2.1	Propiedades Atómicas del plomo	35
2.10.2.2	Propiedades Físicas del plomo	35
2.10.3	Toxicidad	36
2.10.4	Toxicidad de plomo en Nicaragua	37
2.10.5	Impacto ambiental	38
2.10.6	Legislación Nacional e internacional en metales	39
3	Material y método	40
3.1	Material	40
3.2	Utensilios y cristalería de laboratorio	40
3.3	Equipos	40

4	Método	41
4.1	Elaboración del carbón activado	41
4.2	Adsorción del carbón activado	42
4.3	Remoción del plomo en función del Ph a diferentes concentraciones	43
4.4	Procedimientos para ensayos de humedad y cenizas	43
4.4.1	Determinación de humedad	43
4.4.2	Determinación de cenizas	44
5	Diseño experimental	45
5.1	Determinación Experimental	45
6	Presentación y discusión de resultados	46
6.1	Determinación de las isothermas de adsorción para carbón de malinche	46-48
6.2	Determinación de las isothermas de adsorción para el carbón industrial	49-51
6.3	Remoción de plomo en función del pH a diferentes concentraciones	52
6.3.1	Concentración de 100 ppb a una hora de contacto	52
6.3.2	Concentración de 300 ppb a una hora de contacto	52
6.3.3	Concentración de 100 ppb a ocho horas de contacto	53
6.3.4	Concentración de 300 ppb a ocho horas de contacto	53
6.3.5	Análisis de la Tabla ANOVA	54-56
6.3.6	Determinación de humedad y cenizas totales.	57
7	Conclusiones	58
8	Recomendaciones	59
9	Glosario	60

10	Bibliografía	61-62
-----------	---------------------	-------

11 Anexos

11.1	Cálculos típicos de los reactivos utilizados	64
11.1.1	Hidroxido de sodio 0.5 M	64
11.1.2	Acido Acético 0.5M	64
11.1.3	Hidróxido de sodio 6 M	64
11.1.4	Solución del estándar de plomo a 100 ppb	65
11.1.5	Solución del estándar de plomo a 300 ppb	65
11.2	Cálculos típicos para la determinación de la Isotermas de adsorción	66-67
11.3	Principales reactivos y equipos utilizados en la experimentación	68-69
11.4	Contaminación del lago de Managua	70
11.5	Minerales de plomo	71

LISTADO DE TABLAS.

Tabla 1	Rango de valores de algunas propiedades de carbones activados.	17
Tabla 2	Tipos de carbones activados.	17
Tabla 3	Propiedad atómica del plomo.	35
Tabla 4	Propiedad física del plomo.	35
Tabla 5	Concentraciones de control para metales pesados.	39
Tabla 6	Determinación Experimental en la remoción de plomo	45
Tabla 7	Cálculos típicos en la determinación de las isothermas de adsorción	46
Tabla 7.1	Milimoles adsorbidos para el ácido acético	46
Tabla 7.2	Porcentaje de remoción de ácido acético	47
Tabla 7.3	Forma logarítmica de la ecuación de Freundlich.	47
Tabla 7.4	Cálculos típicos para el carbón industrial.	49
Tabla 7.5	Milimoles adsorbidos de ácido acético	49
Tabla 7.6	Porcentaje de remoción del ácido acético	50
Tabla 7.7	Forma logarítmica de la ecuación de Freundlich.	50
Tabla 7.8	Porcentaje de remoción. Concentración de 100 ppb. Contacto una hora	52
Tabla 7.9	Porcentaje de remoción. Concentración de 300 ppb. Contacto una hora	52
Tabla 7.10	Porcentaje de remoción. Concentración de 100 ppb. Contacto ocho horas	53
Tabla 7.11	Porcentaje de remoción. Concentración de 300 ppb. Contacto ocho horas	53
Tabla 7.12	Presentación de variables y porcentaje de remoción.	54
Tabla 7.13	Resultados del ANOVA para el porcentaje de remoción.	54
Tabla 7.14	Resumen del diseño experimental.	54
Tabla 7.15	Porcentaje de humedad del carbón activado.	57
Tabla 7.16	Porcentaje de cenizas del carbón activado.	57

LISTADO DE FIGURAS.

Figura 1	Arbol de malinche.	13
Figura 2	Estructura cristalina del átomo de carbón.	14
Figura 3	Representación Esquemática de un carbón	16
Figura 4	Tipos de carbón activado según su estructura	18
Figura 5	Textura Porosa de los carbones activados	20
Figura 6	Actividades industriales y comerciales que generan problemas en aguas	23
Figura 7	Tipos de Isotermas	29
Figura 8	Tipos de Isotermas para soluciones de sólidos y líquidos	30
Figura 9	Estructura de la pared fúngica y sitios de unión para metales	33
Figura 10	Isoterma de adsorción del carbón para la vaina de malinche	48
Figura 11	Isoterma de adsorción del carbón para el carbón industrial	51
Figura 12	Diagrama de pareto para el porcentaje de remoción	55
Figura 13	Adsorción de plomo en función del pH, tiempo y concentración	56
Figura 14	Equipos e instrumentos para la remoción del plomo	69
Figura 15	Contaminación del lago de Managua	70
Figura 16	Minerales de plomo.	71

1. Introducción.

A partir de los años 90 en Nicaragua se comienza a generar nuevos empleos con la introducción de zonas Francas en donde convergen diferentes tipos de empresas predominando las textiles.

Los problemas medioambientales que enfrenta las industrias textiles son únicos ya que están enfocados en aquellas áreas de preparación, teñidos, acabados y tejidos tanto en los procesos de fibras sintéticas como natural, afectando la calidad del agua, provocando así cambios de color, toxicidad y un alto contenidos de metales pesado.

En el año de 1991 se realizaron estudios demostrando que fueron lanzados al lago aproximadamente 40 toneladas de mercurio por la compañía trasnacional productora de soda caustica y cloro, Penwalt S.A reportándose también la presencia de considerables niveles de Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) en el suelo, sedimento y en las agua del rio Sucio, Chontales (Silva, 1994; Romero, 1996).

En Nicaragua el problema del plomo se presenta principalmente en zonas rurales donde la población se abastece del líquido por medio de pozos artesanales tales como las comunidades “El Carrizo”, “Las Cañas”, “Agua Fria”, “Soledad de la Cruz” debido a numerosos efluentes industriales, plaguicidas y otros productos químicos, usados en la agricultura que han sido puntos de contaminación ambiental y al ser arrastrados por las lluvias, contribuyen al igual que fuentes de origen natural a deteriorar la calidad de las aguas, por ende la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el ambiente en cantidades considerables, siendo esta sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

La contaminación de los recursos hídricos es un problema ascendente que a diario muestra más evidencias. Sin embargo se tiene poca información del grado de contaminación en los acuíferos del país, por esta razón es necesario prevenir su contaminación desarrollando instrumentos que permitan orientar esfuerzos y recursos en aquellos acuíferos que por su características geológicas e hidrológicas son naturalmente sensibles a ser contaminados.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química y biológicas degradable, una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años.

La remoción de metales pesados de soluciones acuosas, provenientes de procesos industriales representa una materia importante en el campo de la salud pública y el ambiente. Un ejemplo importante es el caso del plomo, que daña el sistema nervioso central del hombre y desbalancea los organismos jóvenes (Paulino *et al.* 2005). Otro de los mecanismos mediante el cual los metales pesados llegan al ser humano se debe a que las plantas absorben el metal a través de la raíz y a su vez las especies animales lo hacen al alimentarse de aquellas.

Los metales pesados tales como: Plomo, Arsénico, Mercurio, Cadmio y Cromo, por el daño que puede producir su ingesta y su alta toxicidad han sido clasificados por la Environmental Protection Agency (EPA) entre las 20 sustancias químicas más peligrosas para la salud humana. Por esta razón los países han realizados estudios para disminuir la contaminación provocada por los metales pesados, demostrando que estos pueden ser absorbidos de las aguas, de esta manera el hombre ha desarrollado la tecnología para la producción del carbono activado cuya demanda esta en aumento por ser uno de los materiales más económicos y viables en la absorción de contaminantes. Estos provienen principalmente de la madera (carbón vegetal) y minería (carbón industrial).

En el trabajo monográfico titulado “Obtención de carbón activado a partir de residuos de hueso vacuno a nivel de laboratorio por el método químico” (2002) se produjo por primera vez en Nicaragua carbón activado a partir de materia prima animal y se comparo el carbón activado producido en el laboratorio con el industrial, así sucesivamente se han venido realizando estudios de otras materias orgánicas como fue la Tesis titulada “Obtención del carbón activado a partir de la semilla de nancite para la retención de Arsénico” (2008) obteniendo buenos resultados en la remoción del metal.

Es importante la disminución de los metales pesados tanto en aguas acuíferas como subterráneas para evitar la contaminación ambiental de todo el territorio y la destrucción de la vida presente en nuestro ecosistema, por tanto es de suma importancia la evaluación de la capacidad adsorbtiva del carbón activado obtenido de la vaina de malinche con el fin de poder utilizar recursos naturales propios y dar a conocer un método para disminuir la cantidad de plomo en agua tanto urbana y residuales sacando a reducir problemas y aportar en la medida posible el conocimiento y solución que brinda el carbón activado y a la misma vez se pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes que a diario conviven con este mal.

Siendo este el primer trabajo introductorio para la obtención del carbón activado a partir de la vaina de malinche, en su realización y evaluación de la adsorción del plomo, ya que actualmente en Nicaragua no se han realizado estudios para este precursor.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo General:

Evaluar la capacidad de adsorción de plomo en carbón activado obtenido a partir de la vaina del malinche.

1.2.2 Objetivos específicos:

1. Obtener carbón activado a partir de la vaina del malinche por método químico.
2. Determinar las Isotermas de adsorción del plomo en carbón activado utilizando el modelo de Freundlich.
3. Calcular el porcentaje de remoción del plomo por espectrofotometría.
4. Evaluar los parámetros que influyen en la capacidad de adsorción tales como pH, concentración, tiempo y el porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas.

2. MARCO TEORICO.

2.1 Árbol de malinche.

El árbol de malinche es un árbol originario de Madagascar, en África. La belleza impresionante de este árbol es cuando se halla en plena y absoluta floración.

El árbol es de tamaño mediano, de 10 a 15 metros de altura, con una extensa copa en forma de sombrilla, y no son raros los arboles adultos con copas de más de 20 metros, hojas con 20 pares de pinnas (hojas compuestas); Sus flores son muy llamativas, con pétalos grandes, mientras que sus frutos son unas vainas grandes leñosas, de 40 a 60 cm de largo y de 5 a 7 cm de ancho.

Este puede llegar a vivir más de 50 años. Solamente en Nicaragua y algunas partes de América Central se conoce a este árbol con el nombre de "malinche", pero en el resto del mundo se le conoce con los exóticos nombres de Flamboyán, Flamboyant-tree o Royal Poinciana. El tronco es de forma bien irregular, nunca cilíndrica y por lo general se ramifica a muy poca altura sobre el suelo.



Figura 1. Arbol de malinche.

2.2 Carbón.

El carbón es un mineral de origen orgánico constituido básicamente por carbono. Su formación es el resultado de la condensación gradual de la materia de plantas parcialmente descompuestas a lo largo de millones de años formando una capa llamada turba.

Hay tres tipos básicos de carbón:

- **Lignito:** Se forma una vez comprimida la turba. Es el carbón de menor valor calórico, porque se formó en épocas más recientes y contiene menos carbón (30%) y más agua. Es una sustancia parda en la que se pueden reconocer algunas estructuras vegetales.
- **Hulla:** Se origina por la compresión del lignito. Tiene un importante poder calorífico por lo que se utiliza en las plantas de producción de energía. Es dura y quebradiza, de color negro. La concentración de carbono está entre el 75 y el 80%.
- **Antracita:** procede de la transformación de la hulla. Es el mejor de los carbones, muy poco contaminante y de alto poder calorífico. Arde con dificultad pero desprende mucho calor y poco humo. Es negro, brillante y muy duro. Tiene una concentración de hasta el 95% de carbono.

El nombre de carbón se da a los compuestos que tienen en su composición al elemento carbono (C), ordenado regularmente. Los átomos situados en la parte exterior de la estructura cristalina disponen de fuerzas de atracción libre, lo que les permite atraer compuestos existentes en su inmediato alrededor.

Los átomos de carbono de una estructura cristalina se atraen unos a otros, adquiriendo una estructura ordenada. Una de las maneras más sencillas de diferenciar los carbones que se encuentran en la naturaleza de aquellos que son fabricados por el hombre, es mediante el grado de ordenamiento de sus átomos.

En la figura 2 se muestra una representación de la estructura cristalina del átomo de carbono.

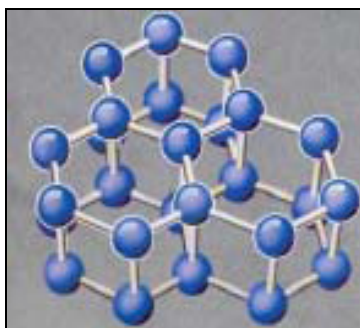


Figura 2. Estructura cristalina del átomo de carbono.

2.3 Carbón activado.

El Carbón activado es posiblemente el medio más comúnmente usado para la adsorción, siendo producido por el calentamiento de sustancias carbonáceas o bases de celulosa en ausencia de aire. Tiene una estructura porosa, y su aspecto es similar al carbón o a la turba. Se encuentra disponible en forma granular y en polvo.

Según Karanfil et al. (1999) el carbón activado es un adsorbente microporoso que puede ser producido de una variedad de materiales carbonáceos, incluyendo, madera, carbón, lignina, concha de coco y azúcar. Sus únicas propiedades de adsorción resultan de su alta área superficial, microporos, y amplia variedad de grupos funcionales.

El carbón activado posee un alto poder de adsorción, como resultado de una importante y variada red de poros. Estos carbones son preparados por la carbonización y activación de materiales orgánicos especialmente de origen vegetal, hullas, lignitos y turbas con el fin de obtener un alto grado de porosidad y una importante superficie intraparticular. Estos sólidos suelen ser microporosos y como consecuencia, presentan altos valores de superficie específica, normalmente entre 1000 y 1500 m²/g, además pueden presentar variadas contribuciones de meso y macroporosidad (Rodríguez y col., 2001; Arriagada y col., 1998).

La actividad del carbón activado en los procesos de adsorción viene dada fundamentalmente, por la naturaleza de la materia prima y el proceso de activación utilizado en la producción del mismo. Su capacidad adsorbente se ve muy favorecida por la estructura porosa y la interacción con adsorbatos polares y no polares, dada su estructura química, además las reacciones químicas en su superficie están influenciadas por centros activos, dislocaciones y discontinuidades, donde los carbones tienen electrones desapareados y valencias insaturadas presentando mayor energía potencial.

Son dos las características fundamentales en las que se basan las aplicaciones del carbón activado: elevada capacidad y baja selectividad de retención. La elevada capacidad de eliminación de sustancias se debe a la alta superficie interna que posee, así mismo porosidad y distribución de tamaño de poros juegan un papel importante.

Las formas más comunes en que se comercializan estos adsorbentes para el tratamiento de aguas son carbones activados en polvo (PAC) y carbones activados granulares (GAC) de sus siglas en inglés, siendo estos últimos los de mayor demanda en la actualidad, puesto que permiten un proceso continuo mediante su utilización en columnas por lo que la operación de retención y elución se realiza en forma continua y alternada.

2.3.1 Características del Carbón Activado.

Estructura y propiedades.

Basándose en la difracción de rayos X, se propuso dos tipos de estructuras para el carbón activado. El primer tipo de estructura está formado por microcristalitas que en dos planos son semejantes al grafito constituido por capas paralelas de átomos de carbono ordenadas hexagonalmente, mientras que el segundo tipo de estructura se describe como un retículo tridimensional de hexágonos de carbono desordenados como resultado del ordenamiento al azar de las estructuras bencénicas condensadas que se forman durante la carbonización.

Entre los microcristales que constituyen el carbón, existen huecos o espacios vacíos los cuales se denominan poros. El área superficial total de estos poros, incluida el área de sus paredes, es muy amplia, siendo la principal razón de su gran capacidad de adsorción.

La estructura del carbón activado es comparada a las de los átomos de carbono que están ordenados en pilas paralelas de capas hexagonales, extensivamente con uniones cruzadas y hexagonalmente enlazados. Algunos heteroátomos, incluyendo el oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, y otros, pueden ser encontrados en la matriz de carbón activado, en la forma de átomos simples y/o grupos funcionales.

El oxígeno es el heteroátomo dominante en la matriz del carbón, y la presencia de grupos funcionales, tales como, carboxilo, carbonilo, fenoles, lactonas, y quinonas han sido postulados (Leon y Leon, 1994). Los grupos funcionales superficiales influyen en las propiedades y reactividad de los carbones activados.

Algunas técnicas, incluyen tratamientos térmicos, oxidación, aminación e impregnación con varios compuestos inorgánicos que están disponibles para modificar la actividad de los carbones, estas modificaciones pueden cambiar la reactividad de la superficie tanto como la estructura y propiedades químicas del carbón.

Su impacto es primordialmente una función de la accesibilidad al área superficial del adsorbente, lo cual es dominado por la distribución relativa de los tamaños de los poros y las moléculas.

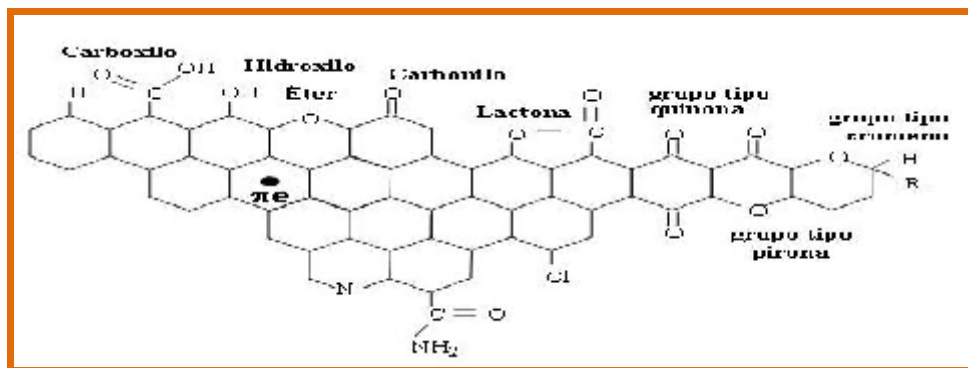


Fig. 3 Representación esquemática de los principales grupos funcionales que se pueden encontrar en un carbón.

A continuación se presentan rango de valores para algunas propiedades de carbones activos comerciales.

2.3.2 Rango de valores para algunas propiedades del carbón activado comercial.

Area especifica, BET (m²/g)	600 – 1.500
Macroporo (m²/g)	100 – 800
Volumen de poro total (cm³/g)	0,6 – 1,8
Microporo (cm³/g)	0,2 – 1,3
Densidad aparente (comprimido) (g/cm³)	0.3 – 0.7
Granularidad (mm): a: polvo b: granular	0,05 – 0,1 0,1 – 2
Coefficiente de uniformidad	1,4 – 2
Porcentaje de Cenizas (%)	1 – 12

Tabla 1. Rango de valores para algunas propiedades de los carbones activados comerciales.

En la tabla 1 se indican valores característicos de algunas propiedades importantes de los carbones activos. Los amplios intervalos reseñados dan idea de la variedad posible de productos finales, además de las indicadas, son de enorme interés: la densidad real, la densidad de partícula, el número de iodo y el contenido en humedad, entre otras.

2.3.3 Tipos de carbones activados según su origen.

Propiedad	Coco	Carbon Bituminoso	Lignita	Madera
Microporos	Altos	Altos	Medianos	Bajos
Macroporos	Bajos	Medianos	Altos	Altos
Dureza	alta	Alta	Baja	Medianas
Cenizas	5%	10%	20%	5%
Cenizas soluble en agua	Altas	bajas	altas	medianas
Polvo	Bajo	Mediano	Alto	Mediano
Regeneracion	Buena	buena	pobre	regular
Densidad aparente	0.48 gr/cc	0.48 gr/cc	0.3 gr/cc	0.35 gr/cc
Numero de Iodo	1100	1000	600	1000

Fuente: Vergara Yayon Francisco.

Tabla 2. Tipos de carbones activados.

Tipos de carbón activados.



Figura 4. Tipos de carbon activados según su estructura.

2.3.4 Características Fisicoquímicas.

2.3.4.1 Composición Química.

Según la composición química, el carbón activo es carbón prácticamente puro, al igual que lo es el diamante, el grafito y los diversos carbones minerales o de leña. Todos ellos poseen la propiedad de adsorber, que consiste en un fenómeno fisicoquímico en el que un sólido llamado adsorbente atrapa en sus paredes a cierto tipo de moléculas, llamadas adsorbatos y que están contenidas en un líquido o gas.

La composición química del carbón activo es aproximadamente un 75-80% en carbono, 5-10% en cenizas, 60% en oxígeno y 0,5% en hidrógeno.

2.3.4.2 Composición Física.

El carbón activo posee una estructura microcristalina que recuerda en cierta medida a la del grafito. Esta estructura que presenta el carbón activo da lugar normalmente a una distribución de tamaño de poro bien determinada. Así, se pueden distinguir tres tipos de poros según su radio: macroporos ($r > 25 \text{ nm}$), mesoporos ($25 > r > 1 \text{ nm}$) y microporos ($r < 1 \text{ nm}$).

2.3.4.3 Tamaños de poros.

El carbón activo tiene una gran variedad de tamaños de poros, los cuales pueden clasificarse de acuerdo a su función, en poros de adsorción y poros de transporte. Los primeros consisten en espacios entre placas graníticas con una separación de entre una y cinco veces el diámetro de la molécula que va a retenerse. En éstos, ambas placas de carbón están lo suficientemente cerca como para ejercer atracción sobre el adsorbato y retenerlo con mayor fuerza.

Los poros mayores que los de adsorción son de transporte, y tienen un rango muy amplio de tamaño, que van hasta el de las grietas que están en el límite detectable por la vista, y que corresponde a 0.1mm. En esta clase de poros, sólo una placa ejerce atracción sobre el adsorbato y entonces lo hace con una fuerza menor, o incluso insuficiente para retenerlo. Actúan como caminos de difusión por los que circula la molécula hacia los poros de adsorción en los que hay una atracción mayor. Por lo tanto aunque tiene poca influencia en la capacidad del carbón activo afectan a la cinética o velocidad con la que se lleva a cabo la adsorción.

La IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemists) que se basan en el diámetro de los poros, los clasifica de la siguiente manera:

- Microporo: Menores a 2 nm
- Mesoporos: Entre 2 y 50 nm.
- Macroporos: Mayores a 50 nm (típicamente de 200 a 2000 nm).

Los microporos tienen un tamaño adecuado para retener moléculas pequeñas que aproximadamente corresponden a compuestos más volátiles que el agua, tales como olores, sabores y muchos solventes. Los macroporos atrapan moléculas grandes, tales como las que son cloradas o las sustancias húmicas (ácidos húmicos y fúlvicos) que se generan al descomponerse la materia orgánica. Los mesoporos son los apropiados para moléculas intermedias entre las anteriores. Por lo tanto la capacidad de un carbón activo para retener una determinada sustancia no solo depende de su área superficial, sino también de la proporción de poros internos que tenga dicho carbón, y del tamaño de los mismos (un tamaño adecuado para un poro debe oscilar entre 1 y 5 veces el diámetro de la molécula a retener).

La distribución del tamaño del poro depende fundamentalmente de tres factores: el origen de la materia prima, el tipo de activación y la duración del proceso de activación.

Importancia de la textura porosa de los carbones activados.

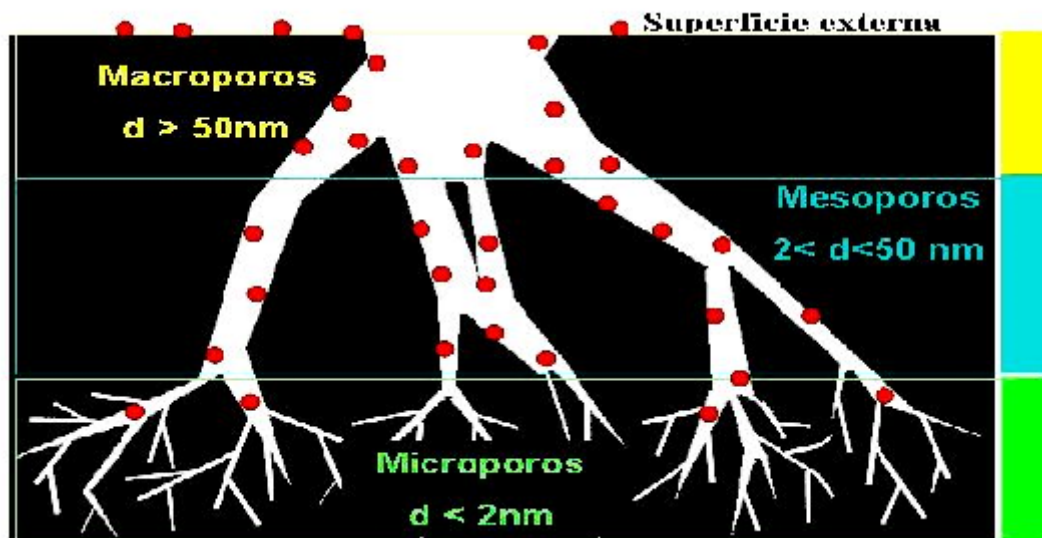


Figura 5. Textura porosa de los carbones activados.

Representación esquemática del sistema poroso de un carbón y **clasificación de los poros según su tamaño** (d = dimensión característica del poro). Los círculos representan las moléculas del adsorbato.



Ejemplo de tamaño y a geometría del poro que influye en la adsorción de distintos adsorbatos.

2.4 Adsorción en fase líquida.

Los procesos de adsorción en fase líquida se utilizan con buena eficiencia en la purificación de aguas residuales de industrias que pueden contener colorantes, fragancias y en general contaminantes orgánicos o inorgánicos (Tseng et al., 2003). Tales compuestos orgánicos causan color, olor y sabor indeseables. Esta técnica es en la mayoría de los casos, la opción más sencilla y económica comparada con otras técnicas, por ejemplo: destilación cristalización, etc.

Aunque la mayor parte de los compuestos que adsorbe el carbón activado son de naturaleza orgánica, existen algunas importantes excepciones inorgánicas tales como: Nitratos.

La adsorción en la fase líquida es resultado de dos fenómenos:

- a) Adsorción Física: debido a las fuerzas de Van Der Waals.
- b) Adsorción Química: debido a la formación de enlaces químicos.

2.5 Aplicaciones del carbón activado.

El carbón activado tiene una amplia gama de aplicaciones tanto en polvo como granular en medio líquido y gaseoso. Sus aplicaciones en medio líquido abarcan la decoloración de licores de azúcar, potabilización de aguas (eliminación de olor, color, sustancias químicas, bacterias), tratamientos de aguas residuales, decoloración de aguas para su uso en la fabricación de bebidas refrescantes, decoloración y mejora de bebidas alcohólicas (vinos, rones), purificación de grasas y aceites comestibles, purificación de proteínas, como medicamento en la desintoxicación de personas, purificación de plasma sanguíneo, separación de elementos metálicos (oro, plata), entre otras.

Por su parte en medio gaseoso encuentra sus aplicaciones en el almacenamiento y separación de gases, en máscaras antigás, protección antirradiativa en plantas nucleares, desodorizante de productos alimenticios, además hoy tiene amplias perspectivas de aplicación como soporte catalítico y como catalizador.

Entre otras aplicaciones, de forma general, se pueden mencionar su utilización en filtros de cigarrillos y plantillas de calzados, entre otros.

Las principales aplicaciones están relacionadas con el tratamiento de aguas:

- a) **Aguas Potables:** En los países desarrollados esta aplicación consume una cuarta parte del carbón activado utilizado en fase líquida, y su misión fundamental es complementar la desinfección y filtración habituales mediante la adsorción de productos tóxicos y otros materiales orgánicos.
- b) **Aguas Residuales:** Esta aplicación consume aproximadamente la quinta parte del carbón activado utilizado en aplicaciones en fase líquida y es previsible que sea la aplicación que más crezca como consecuencia de las regulaciones cada vez más estrictas.
- c) **Decoloración de edulcorantes:** La decoloración del azúcar y los siropes.
- d) **Industria Química:** La purificación de muchos productos químicos consume una importante cantidad de carbón activado.
- e) **Industria Alimentaria:** Estas aplicaciones incluyen muchos alimentos habituales como aceite, bebidas alcohólicas y no alcohólicas, café descafeinado, etc.
- f) **Otras:** Aquí se puede incluir la industria farmacéutica (Antibióticos, Vitaminas, disoluciones intravenosa, etc.), minería (especialmente la extracción de oro, complejo cianurado), catálisis, etc.

Figura 6. Actividades industriales y comerciales que generan problemas en aguas.

Tipos de Industria	Parámetros a considerar como mínimo.
Acumuladores/baterías	Plomo, cromo, níquel, cadmio, arsénico.
Refinerías	Aceite/diesel, BTEX, Plomo.
Pinturas/Lacados	Disolventes (clorados y otros), Arsénico, Cromo, Cobre, Cadmio, Plomo , Zinc, Estaño, Ftalatos.
Curtidos	Disolventes (clorados y otros), Cromo, Cobre, Cadmio , Níquel , Arsénico, Zinc.
Fabricas de gas	Fenoles, PAH, BTEX, cianuros, azufre.
Galvanización	Disolventes, Cromo, Cobre, Cadmio , Zinc, Arsénico, Plomo , cianuro.
Industria de plástico	Disolventes, Ftalatos, Plomo, Cadmio.
Química de síntesis	Disolventes (clorados y otros), Arsénico, Cromo
Astilleros	Disolventes (clorados y otros), PAH, aceite, Cadmio , Cobre, Cromo, Níquel, Plomo , Zinc, Estaño.
Chatarrerías	Plomo , Cobre, Cromo, Níquel, Cadmio , aceites.
Industria farmacéutica	Disolventes (clorados y otros).
Fundiciones/Acerías	Cadmio , Cobre, Cromo, Níquel, Plomo , Zinc, Molibdeno, Aceites, fenoles, BTEX, disolventes clorados.
Textiles e impregnación	Disolventes (clorados y otros), pentaclorofenol, Cromo, Cadmio, Níquel.
Gasolineras	Aceite/diesel, BTEX, Plomo , MTBE

Fuente: (Monreal *et al*; 2006).

2.6 Métodos para la activación del carbón.

La obtención del carbón activado está basada en dos etapas fundamentales: la carbonización de la materia prima y la activación del producto carbonizado.

En general, todos los materiales carbonosos pueden ser transformados en carbón activado, siendo las propiedades del producto final dependientes de la naturaleza de la materia prima, del agente activante y de las condiciones del proceso de activación.

Durante la carbonización por pirólisis de la materia prima en ausencia de aire y sin la adición de productos químicos, se desarrolla una estructura porosa básica. La activación del material carbonizado consiste en el desarrollo de la estructura porosa antes generada, mediante la adición de agentes oxidantes. La activación puede llevarse a cabo tanto por métodos denominados físicos como químicos.

2.6.1 Activación térmica:

Cuando se parte de un material orgánico (madera, cáscara de coco, sangre u otro), el proceso se inicia con su carbonización, la cual debe realizarse a una baja temperatura en la que no se favorezca la grafitación. Si se parte de carbón mineral, es obvio que no se requiere la carbonización, ya que la naturaleza se encargó de realizarla. Sin embargo, en el caso de los carbones minerales suele ser necesario un lavado previo, para extraer contaminantes como azufre y metales pesados, que típicamente se encuentran en los yacimientos.

El carbón resultante se somete a temperaturas cercanas a los 1000°C, en una atmósfera inerte o reductora, usualmente saturada con vapor de agua. En estas condiciones, y a lo largo de un cierto tiempo, algunos átomos de carbón reaccionan y se gasifican en forma de CO₂ y otros se recombinan y condensan en forma de las mencionadas placas grafiticas.

El carbón activado sale del horno al rojo vivo, por lo que debe enfriarse antes de entrar en contacto con el aire a temperatura ambiente. De lo contrario, una parte de éste desaparecería como CO₂ y el producto resultaría con una cantidad muy grande de óxidos superficiales, que podrían afectarlo negativamente. Para lograr este enfriamiento, puede recibirse el carbón en agua, o en un equipo sellado con enfriamiento indirecto.

Lo anterior constituye la etapa básica del proceso. El resto consiste en operaciones de molido y cribado para brindar al producto el rango buscado de tamaños de partícula requerida.

2.6.2 Activación Química:

El método de activación química es un método que solo puede aplicarse a ciertos materiales orgánicos, relativamente blandos y que están formados por moléculas de celulosa, como es el caso de la madera.

La primera etapa consiste en deshidratar la materia prima mediante la acción de un químico, tal como ácido fosfórico, cloruro de zinc, Hidroxido de Sodio o carbonato de potasio. Posteriormente, se carboniza el material deshidratado a altas temperaturas (200°C a 650 °C) obteniéndose automáticamente la estructura porosa.

El producto resultante se lava con el objeto de dejarlo libre del químico utilizado, así como para recuperar y reutilizar este último. El grado de activación también puede variarse en este tipo de proceso, de acuerdo con la cantidad del químico deshidratante utilizado.

El proceso involucra el mezclado de la materia prima original con el agente activante (deshidratante), formando una pasta que luego es secada y carbonizada en un horno, a una temperatura entre 200 °C y 650 °C, ocurriendo una deshidratación con el resultado final de la creación de una estructura porosa y una ampliación del área superficial. Los parámetros fundamentales que controlan el proceso de activación química y el producto a obtener son: la relación de impregnación, la temperatura de activación y el tiempo de residencia. La dependencia de la estructura del carbón con estas variables puede ser seguida por los cambios en las formas de las isothermas de adsorción.

2.7 Adsorción.

La adsorción se define como un proceso superficial de transferencia de masa, en el cual las moléculas disueltas o dispersas presentes en una fase (líquida o gaseosa) se unen o adhieren a la superficie de otra (sólida). El sólido en cuya superficie se produce la adsorción se denomina adsorbente y la sustancia que es adsorbida recibe el nombre de adsorbato. En la adsorción los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción son conocidas como "fuerzas de Van Der Waals" en otras palabras consiste en la captación de sustancias solubles presentes en la interfase de una solución, pudiendo constituirse dicha interfase entre un líquido y un gas, un sólido o entre dos líquidos diferentes.

La adsorción es distinta de la absorción y entre ellas debe establecerse una clara diferencia. En este último proceso la sustancia no se retiene en la superficie, sino que pasa hacia el interior de la superficie, la penetra (rellenado de poros) y se distribuye por todo el cuerpo de un sólido o líquido.

El proceso de adsorción depende fuertemente del pH y cada metal tiene un pH óptimo para ser extraído. La temperatura, el tiempo de equilibrio, la concentración de metal y la presencia de otros iones en disolución son factores que influyen también en el proceso de adsorción (Patterson, 1991), pues en soluciones con más de un metal, se pueden generar tres tipos de comportamiento, sinergismo: el efecto (adsorción) de la mezcla es mayor que cuando los componentes están por individual; antagonismo: el efecto de la mezcla es inferior al de cada uno de los metales; sin interacción: cuando el efecto de la mezcla no es diferente al de los componentes por individual (Quingbiao *et al.*, 2004).

2.7.1 Tipos de adsorción.

2.7.1.1 Fisisorción o adsorción física.

En la fisisorción las moléculas del adsorbato se mantienen unidas en la superficie del sólido por medio de las fuerzas intermoleculares de Van der Waals. Los principales aspectos que caracterizan la fisisorción son los siguientes:

Este tipo de adsorción se caracteriza por:

- Entalpías de adsorción desde -4 hasta -40 KJ/mol.
- Solo se aprecia a temperaturas inferiores a la de ebullición de la sustancia adsorbida.
- La cantidad de la adsorción sobre una superficie depende más de la sustancia que se adsorbe que del adsorbente.
- No se aprecia energía de activación de adsorción.
- Se forman capas múltiples adsorbidas.
- No es específica.

2.7.1.2 Quimisorción o adsorción química.

En la quimisorción se produce una reacción química entre el adsorbato y la superficie del adsorbente produciéndose así enlaces relativamente fuertes que conducen a procesos irreversibles.

Este tipo de adsorción se caracteriza por:

- Entalpías de adsorción que van desde -40 hasta -800 KJ/mol.
- Se observa a temperaturas elevadas.
- La cantidad de adsorción sobre una superficie depende tanto de la sustancia que se adsorbe como del adsorbente.
- Se manifiesta energía de activación de adsorción.
- La adsorción da lugar a lo sumo a una monocapa.

2.7.1.3 Adsorción de soluciones diluidas.

La adsorción de solutos acuosos y no acuosos pueden ser llevadas a cabo poniendo una cantidad conocida de carbón activado en contacto con diferentes concentraciones del soluto, en recipientes cerrados bajo una constante agitación durante cierto determinado tiempo que puede variar de pocos minutos a muchas horas dependiendo de la naturaleza del carbón y del soluto, siendo alcanzado el equilibrio, el contenido es dejado estable preferentemente toda una noche causando que todo el carbón se precipite en el fondo del recipiente, el liquido sobrenadante es centrifugado para acentuar las trazas de carbón activado, luego analizar el liquido para obtener la concentración final del soluto en la solución.

Las ecuaciones de Freundlich y de Langmuir han sido empleadas para explicar resultados en adsorción de soluciones diluidas pero como se ha mencionado la ecuación de Freundlich carece de una base teórica y la ecuación de Langmuir asume una constante energía de adsorción sobre la superficie del carbón, lo cual es ciertamente no verdadero para el caso de carbón activado.

Debido a esto una serie de ecuaciones han sido creadas y modificaciones de la ecuación de Langmuir y de Freundlich, sin embargo todas estas ecuaciones son empíricas por lo tanto no han sido comúnmente usadas, la ecuación de Freundlich a pesar de sus inherentes deficiencias es aun considerada la mejor para la aplicaciones de la adsorción de soluciones con carbón activado para soluciones diluidas.

2.8 Parámetros que influyen sobre las propiedades de adsorción.

a. Capacidad vs. Cinética.

Los parámetros de capacidad determinan las características de carga del carbón (Concentración de adsorbato en el carbón, en el punto de saturación). La capacidad máxima de adsorción del carbón solo se alcanza en el equilibrio.

Los parámetros cinéticos solo determinan la velocidad de adsorción, teniendo un efecto despreciable sobre la capacidad de adsorción.

b. Área Superficial. La capacidad de adsorción es proporcional al área superficial (Esta es función del grado de activación del carbón).

c. Tamaño del Poro. La correcta distribución del tamaño de poros es necesaria para facilitar el proceso de adsorción (suministrando los sitios de adsorción, los poros finos, y los canales de transporte adecuados para el manejo del adsorbato).

d. Tamaño de las Partículas. Las partículas pequeñas proveen una más rápida velocidad de adsorción (distancia más cortas hasta los sitios de adsorción). El tamaño de partículas no influye sobre el área superficial total. El área superficial total es definida por el grado de activación y por la estructura de los poros del carbón.

e. Temperatura. Las temperaturas bajas aumentan la capacidad de adsorción.

f. Concentración del Adsorbato. La capacidad de adsorción es proporcional a la concentración del adsorbato (altas concentraciones proveen grandes fuerzas de empuje durante el proceso de adsorción).

g. pH La capacidad de adsorción aumenta, con aquellas condiciones de pH que aumentan la solubilidad del adsorbato.

h. Tiempo de Contacto. Para alcanzar el equilibrio en la adsorción y maximizar su eficiencia, se requiere de suficiente tiempo de contacto.

i. Cenizas. Las cenizas constituyen el componente inerte del carbón. En la mayoría de los casos las cenizas solubles en agua son las de mayor consideración.

j. Densidad Aparente. Es utilizada para indicar la actividad de un volumen de carbón. Esta es significativamente más baja que la densidad teórica del sólido (La actividad volumétrica es proporcional a la densidad aparente).

2.9 Isotermas de adsorción.

La relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la presión o concentración de equilibrio, a una temperatura constante se denomina Isoterma de adsorción. Generalmente se presentan tres tipos de isotermas, las cuales pueden apreciarse en la Figura 3.

Las isotermas de adsorción son gráficos donde se representan los resultados de experimentos de adsorción, consisten en la medida de la relación entre la cantidad de soluto adsorbido, sobre una determinada cantidad de adsorbente, realizándose estas medidas a una temperatura constante.

Existen varios tipos de isotermas como la de Langmuir que es solo aplicable a sistemas de monocapa, o la de BET para multicapa, pero la de Freundlich es utilizada para la adsorción de carbón activado. Cuando las isotermas no son lineales, se utilizan las isotermas de Langmuir o Freundlich.

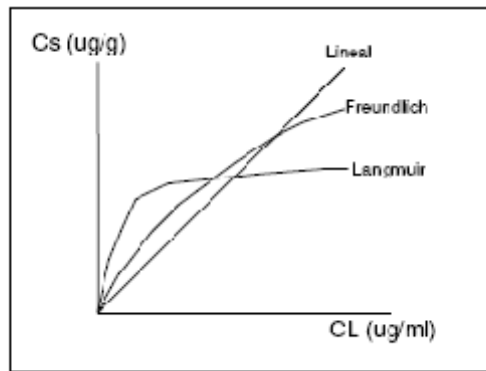


Figura 7. Tipos de isotermas.

Existen correlaciones que expresan las isotermas de adsorción, esto es la funcionalidad entre la concentración adsorbida (expresada en mg del soluto/ g del adsorbente) y la concentración del soluto en la fase líquida (en unidades de mg/L) a una temperatura determinada, según la ecuación:

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2.1)$$

Donde q es la cantidad adsorbida por el adsorbente en (mg/g), V es el volumen de la muestra en (L), C_0 es la concentración inicial en (mg/L), C_e es la concentración en equilibrio de la fase líquida en (mg/L) y m es la cantidad de adsorbente en (g).

Hay diferentes modelos matemáticos que describen las isotermas de adsorción y que a su vez permiten entender la naturaleza del equilibrio de adsorción sólido-gas o sólido-líquido originando el desarrollo de una amplia variedad de ecuaciones de isotermas.

Existen tres posibilidades teóricas para abordar la derivación de isothermas de adsorción:

- Derivación cinética.
- Derivación estadística.
- Derivación termodinámica.

En la figura 8 se muestran los tipos de isothermas de adsorción en sólidos y líquidos en forma generalizada.

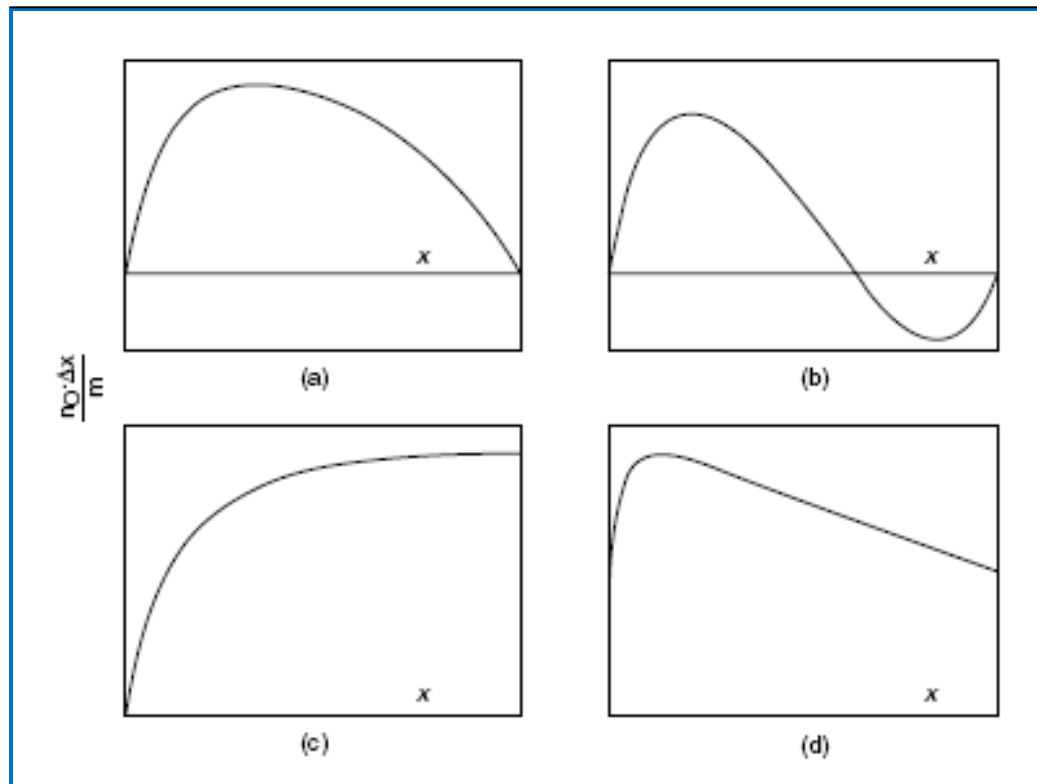


FIGURA 8. Isothermas de adsorción: (a) y (b) para líquidos completamente miscibles (c) y (d) para soluciones de sólidos y líquidos.

La naturaleza de la fase adsorbida es usualmente determinada por la naturaleza del carbón así como por la naturaleza de los componentes de la solución, su concentración y su grado de solubilidad; así como su polaridad. Otro factor que determina la adsorción de soluciones es el arreglo estérico o la estructura química molecular de la especie adsorbida.

Debido a la alta estructura de microporosidad del carbón, algunos de los microporos no puede ser accesibles a las grandes moléculas del soluto, por consiguiente por medio de técnicas simples de adsorción pueden ser desarrolladas para caracterizar la microporosidad del carbón en términos del área superficial, contenido de oxígeno y la hidrofobicidad de la superficie del carbón.

La adsorción de soluciones esta obteniendo una gran importancia por el creciente control ambiental sobre todo en la purificación de aguas con carbón activado.

2.9.1 Isotermas de Freundlich.

El modelo de Freundlich fue una de las primeras ecuaciones propuestas para relacionar la cantidad adsorbida con la concentración del adsorbato en la solución:

$$q = K_F C_e^{1/n} \quad (2.2)$$

Donde K_F y n son constantes empíricas que dependen de la naturaleza del adsorbente y del adsorbato y de la temperatura. El valor q es la cantidad de adsorbato adsorbido (mg/g), K_F es la constante de Freundlich la cual es tomada como un indicador de la capacidad de adsorción (L/g), C_e es la concentración en equilibrio de la fase líquida (mg/L) y n es la constante de heterogeneidad de los sitios de energía.

La forma lineal de la ecuación es la siguiente.

$$\log_{10} q = \frac{1}{n} \log_{10} C_e + \log K_F \quad (2.3)$$

Se obtiene una línea recta cuya pendiente es igual a $1/n$ y la ordenada en el origen es $\log_{10} K_F$.

2.9.2 Isotermas de Langmuir.

Una ecuación mucho más exacta para las isotermas del tipo I la dedujo Irving Langmuir por consideraciones teóricas. Para ello postuló que los gases, al ser adsorbidos por la superficie del sólido forman únicamente una capa de espesor monomolecular.

La velocidad de liberación dependerá a su vez de la superficie cubierta aumentando hasta la saturación. Estas dos velocidades, condensación y evaporación, alcanzan un momento en que se hacen iguales y entonces se establece el equilibrio.

La ecuación de Langmuir es la siguiente:

$$q = \frac{bKC_e}{1 + KC_e} \quad (2.4)$$

En donde q es la cantidad de adsorbato adsorbido (mg/g), K es la constante de equilibrio de Langmuir (L/mg), b es una constante que es tomada como un indicador de la capacidad de adsorción de la monocapa (mg/g) y C_e es la concentración en el equilibrio de la fase líquida (mg/L). Los valores de K y b pueden determinarse experimentalmente si se grafica:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{bKC_e} + \frac{1}{b} \quad (2.5)$$

De tal manera que se obtiene una línea recta cuya pendiente es igual a $1/bKC_e$ y la ordenada en el origen es $1/b$.

2.10 Metales pesados.

2.10.1 Fuentes de metales pesados.

Los metales pesados normalmente aparecen en el agua superficial procedentes de las actividades comerciales e industriales y tienen que eliminarse si el agua residual se va a reutilizar.

Estos metales son elementos metálicos con gran peso atómico, por ejemplo: mercurio, cromo, cadmio, arsénico, plomo, cobre, zinc y níquel. A bajas concentraciones pueden afectar a los seres vivos y tienden acumularse en la cadena alimentaria.

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

1. Oligoelementos o micronutrientes que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.
2. Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Estos son los metales tóxicos cuya concentración en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas. Los términos metales pesados y metales tóxicos se usan como sinónimos pero sólo algunos de ellos pertenecen a ambos grupos.

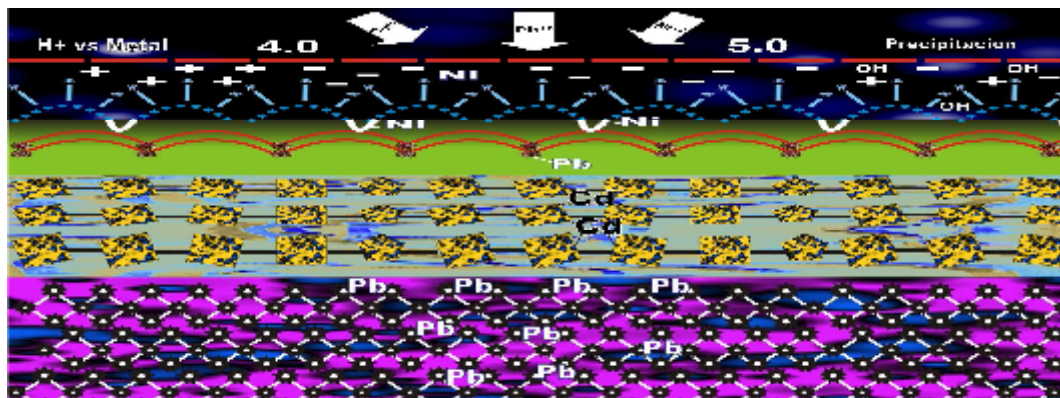


Figura 9. Estructura de la pared fúngica y sitios de unión para metales.



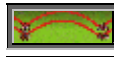
Galactosamina: puede proporcionar enlaces con grupo amino.



N-acetilglucosamina: proporciona enlaces de hidroxil.



Bglucano (1-6): proporciona enlaces carboxilo.



Bglucano (1-3): proporciona enlaces carboxilo.



Proteínas de pared: proporciona enlaces sulfhidrilo.

2.10.2 Plomo.

El Plomo es un metal blando que ha sido conocido a través de los años por muchas aplicaciones. El cual se ha usado ampliamente 5000 años antes de Cristo para aplicaciones en productos metálicos, cables y tuberías, pero también en pinturas y pesticidas. El plomo es uno de los cuatro metales que tienen un mayor efecto dañino sobre la salud humana. Este puede entrar en el cuerpo humano a través de la comida (65%), agua (20%) y aire (15%).

Los principales yacimientos de plomo son la galena, PbS , que contiene 86,4 % de Plomo y la cerusita, PbCO_3 , que contiene 77,5 % de Plomo. La anglesita es el sulfato de plomo, PbSO_4 y la piro morfitita que es un clorofosfato de plomo, $9 \text{ PbO} \cdot 3 \text{ P}_2\text{O}_5 \cdot \text{PbCl}_2$. La galena es el más importante de los minerales de plomo, la cerusita se forma por la oxidación superficial de la galena.

Este metal se usa en una gran variedad de productos incluyendo baterías de almacenamiento, compuestos químicos antidetonantes para la gasolina, pigmentos, pinturas y vidriados cerámicos, La mayor parte de este metal se emplea en baterías y en gran parte se recupera, de tal manera que el plomo se puede reutilizar. La amenaza ambiental proviene de la que se usa en los compuestos químicos.

Siendo el plomo un elemento tóxico no esencial con capacidad de bioacumulación, afecta prácticamente a todos los órganos y/o sistemas del organismo. Los sistemas más sensibles al metal son el nervioso y cardiovascular. A concentraciones altas el plomo tiene un efecto adverso en la reproducción humana; a exposiciones continuas afecta al esperma del hombre (ALBERT 1997).

La exposición puede ocurrir a través del agua potable, del alimento, del aire, del suelo y del polvo de la vieja pintura que contiene plomo. El alimento, el aire, el agua y polvo/tierra son los caminos potenciales principales de la exposición los infantes y los niños jóvenes.

El porcentaje de plomo en la corteza terrestre es de alrededor de 0.00002 %. Se comenzó a considerarse como un metal importante, en el siglo XIX, gracias al descubrimiento de sus usos industriales.

2.10.2.1 Propiedades atómicas del plomo.

Peso Atómico	207,2 uma
Radio medio	180 pm
Radio Atómico calculado	154 pm
Radio covalente	147 pm
Radio de Van der Waals	202 pm
Configuración electrónica	[Xe] 4f14 5d10 6s2 6p2
Estados de oxidación (Óxido)	4, 2 (anfótero)

Tabla 3. Propiedades atómicas del plomo.

2.10.2.2 Propiedades Físicas del plomo.

Estado de la materia	Sólido
Punto de fusión	600,61 K
Punto de ebullición	2022 K
Entalpía de vaporización	177,7 kJ/mol
Entalpía de fusión	4,799 kJ/mol
Presión de vapor	4,21 x 10 ⁻⁷ Pa a 600 K
Velocidad del sonido	1260 m/s a 293,15 K

Tabla 4. Propiedades físicas del plomo.

2.10.3 Toxicidad.

El cuerpo humano contiene aproximadamente 120 mg de plomo, alrededor del 10-20% del plomo es absorbido por los intestinos. Los síntomas de la exposición al plomo incluyen cólicos, pigmentación de la piel y parálisis. Generalmente los efectos del envenenamiento por plomo son neurológicos o teratógenos. El plomo orgánico causa necrosis de neuronas mientras que el plomo inorgánico crea degeneración axónica, ambas especies de plomo causan edema cerebral y congestión. Los compuestos orgánicos del plomo se absorben rápidamente y por lo tanto suponen un mayor riesgo ya que pueden llegar a ser cancerígenos.

Los compuestos de plomo son conocidos por ser venenos lentos y acumulativos: más del 90% del plomo absorbido se fija en los tejidos óseos, y sólo se elimina en un largo periodo de varios años. La dosis mortal de plomo absorbido se calcula en 0.5 mg. La acumulación y toxicidad aparecen si se absorben más de 0.5 mg por día, la vida media del plomo en los huesos es de 32 años y en el riñón de 7 años, el límite de exposición para el plomo en la atmósfera es de 0.15 mg/m^3 y el límite de exposición del plomo en la comida es de 2.56 mg/Kg.

La toxicidad de este metal se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica. Usualmente las moléculas suelen tener dentro de su estructura grupos sulfhidrilo los cuales se combinan con facilidad con los metales pesados produciendo inhibición de las actividades enzimáticas del organismo.

2.10.4 Toxicidad de plomo en Nicaragua.

La característica más peligrosa del daño que produce el plomo es mayor cuando su absorción es lenta, casi invisible, sin signos y síntomas evidentes en la primera etapa, pero con graves consecuencias posteriores, el plomo penetra al organismo por diferentes vías, especialmente la respiratoria y la digestiva. Por la vía respiratoria se absorbe entre el 30 y 50% del plomo inhalado, y por la vía digestiva se absorbe el 10% (50% en los niños.). El plomo absorbido es transportado por la sangre, y alrededor del 90% se fija en los glóbulos rojos, y luego tiene tres tipos de alojamiento: el sanguíneo, los tejidos blandos y el tejido óseo.

Investigaciones realizadas por el MINSA revela que de 100 niños que viven en un perímetro de 200 metros alrededor de talleres artesanales de baterías, 36 están contaminados con plomo en la sangre. De acuerdo con estas investigaciones, más de un mil 200 niños en Managua están contaminados con plomo por la presencia de estos talleres, y la mitad de ellos presentaron síntomas de intoxicación en diferentes niveles, siendo los más afectados los niños que viven en talleres que también sirven como casa de la familia. (La prensa, 2010).

En julio de 2002, UNICEF, con financiamiento del Gobierno de Suecia, realizó un estudio de ámbito nacional para conocer la prevalencia de la contaminación natural por Arsénico, Plomo y Flúor de las aguas subterráneas de Nicaragua, de los 106 puntos muestreados en el estudio, un total de 8 sitios resultaron contaminados: 6 sitios por Arsénico y 2 sitios por Plomo. Es decir, los valores encontrados estaban por encima de las normas nacionales de Nicaragua que establecen como valor máximo admisible 10 µg/l para Arsénico total y Plomo total.

Otras consecuencias.

Los principales efectos letales de la exposición ambiental a plomo son los neurológicos, entre los que están: La encefalopatía, manifestación más grave y más frecuente en niños que en adultos, los signos incipientes pueden ser torpeza, vértigo, caídas, cefaleas, insomnio, inquietud e irritabilidad.

Al evolucionar la encefalopatía, el afectado muestra confusión, alteraciones de la visión, delirio, convulsiones repetidas o letargo, coma y el deterioro psíquico definido y progresivo en niños, donde muestra una pérdida progresiva y constante de sus capacidades motoras y del habla. Pueden mostrar hipercinesia intensa y conducta agresiva, que a su vez altera la percepción sensorial, impidiendo el aprendizaje normal.

2.10.5 Impacto ambiental.

Las descargas de diferentes industrias en Nicaragua, principalmente de textilera, baterías, pinturas entre otras, ocasionan efectos negativos sobre la vida acuática y los usos posteriores; un cuerpo de agua contaminado disminuye el valor de su uso como agua para bebida o para fines agrícolas e industriales, afecta la vida acuática. Por otra parte, si su uso es indispensable, los costos de tratamiento se tornan muy altos.

En el agua las sales solubles, son muy tóxicas y acumulables por los organismos que las absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias (Higueras y Oyarzun, 2007). En aguas con alto contenido de ácidos es más fácil la contaminación de metales ya que se movilizan, es decir de un estado insoluble inicial a un estado soluble final. Las formas solubles generalmente son iones, quelatos o complejos organometálicos no ionizables. La solubilidad de trazas de metales en las aguas superficiales esta controlado predominantemente por el pH, por el tipo de concentración de los ligandos en los cuales el metal puede absorberse, y por el estado de oxidación de los componentes minerales el ambiente rédox del sistema (Anaya y Encinas, 2007).

En los suelos, los metales pesados, pueden quedar retenidos o disueltos en la solución del suelo por procesos de adsorción, complejación y precipitación o estar absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasar a la atmósfera por volatilización o moverse a las aguas superficiales o subterráneas. (Hu, 2002; Jiménez *et al.*, 2006; Higueras y Oyarzun, 2007).

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez vertidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años.

Todo el proceso y persistencia de los metales pesados en el ambiente, desencadena un sin número de efectos nocivos para todos los seres vivos que dependen de las plantas y animales, y así sucesivamente hasta llegar a los niveles más altos de la cadena trófica, donde las concentraciones de metal pesado son mayores (Hu, 2002; Lenntech & Purificación del Aire Holding B.V., 2007).

2.10.6 Legislación Nacional e Internacional en metales.

La industria utiliza grandes volúmenes de agua en sus procesos de manufactura y en operaciones complementarias; de esta agua empleada, la mayor parte se convierte en agua residual o de desecho, con diferentes tipos de contaminantes. En Nicaragua según la fuente y el destino se cuenta con diferentes reglamentos para determinar concentraciones permisibles de estos compuestos.

En la tabla 5 se presentan las normativas nicaragüenses para el control de metales pesados.

Sustancia	NTON 5167/2003 (Abonos orgánicos tipo B (mg/Kg)	Límites EPA 40 CFR 503 PC. EQ QUALITY (mg/Kg)
Arsénico	75.0	75
Cadmio	85.0	85
Cobre	No regulado	4300
Cromo	3000.0	No regulado
Mercurio	57.0	57
Níquel	420.0	420
Plata	-	-
Plomo	840.0	840
Selenio	145.0	100

Tabla 5. Concentraciones de control para metales pesados en aguas residuales.

MATERIAL Y MÉTODO.

3.1 Material.

Los reactivos químicos utilizados en la preparación del carbón activado entre los principales tenemos, Hidróxido de sodio 0.4 M y 0.1 M. como medio activante, Acido acético 0.5 M para la determinación de las isotermas, Acido nítrico 2% como regulador del Ph, estándar de plomo para determinar su remoción del carbón activado de 100 ppb y 300 ppb, HCL (1+18) como preservante de la muestra.

3.2 Utensilios y cristalería de laboratorio.

Entre las principales cristalería utilizados en la preparación del carbón activados a partir de la vaina de malinche tenemos: Crisoles, recipientes de forma cónica invertida utilizado para someter el carbón a elevadas temperaturas con el objetivo de medir la humedad así mismo se utilizó un mortero de porcelana para la trituration del carbón activado y Papel filtro para facilitar la filtración de la solución acuosa conteniendo la remoción de plomo. Para almacenar la solución que contenía plomo lista para su análisis se utilizaron balones volumétricos de 100 ml y 500 ml y pipetas instrumentos volumétricos donde se midieron alícuotas de diferentes reactivos con bastante precisión así mismo como probetas volumétricas en donde se midieron alícuotas para la medición de los estándares de plomo a diferentes concentraciones y las bureta utilizadas para verter cantidades variables de líquidos y en la titulación con hidróxido de sodio en la remoción de plomo.

3.3 Equipos.

Se utilizó una Balanza analítica Adventurer para pesar los gramos de carbón así como diferentes reactivos necesarios para la realización de la capacidad adsorptiva del plomo, de la misma manera se empleó una Mufla Fumace 6000, para calcinar los trozos de malinche eliminándole la humedad para la elaboración del carbón activado. Para evaluar las concentraciones de plomo en las muestras en función del tiempo, se utilizó un Espectrometro Espectroquant ANOVA 60, así mismo se utilizó un Filtro al vacío, para la separación de sólidos en las muestras que contenían el plomo con el carbón activado después de su mezcla a diferentes tiempos.

4 Método.

La presente investigación consistió en un estudio a nivel de laboratorio para la determinación de la capacidad de adsorción de plomo de carbón activado a partir de la vaina de malinche. También, se utilizó el carbón activo como adsorbente en la determinación de las isotermas de adsorción.

Por consiguiente el método utilizado es del tipo “Cuantitativo” ya que éste es el usado para analizar e identificar cantidades en el caso de una investigación de campo o experimental.

Se cubrieron los siguientes aspectos:

- Selección de un carbón vegetal adecuado.
- Preparación de carbón activo.
- Estudio de las variables del proceso de preparación (carbonización y activación).
- Desarrollo del proceso de fabricación del carbón activo a nivel de laboratorio.

4.1 Elaboración de carbón activado.

El procedimiento para elaborar el carbón activado consiste en lo siguiente:

1. **Selección y limpieza de la vaina de malinche:** por ser esto a escala de laboratorio se realiza de manera manual utilizando agua limpia y caliente.
2. **Ecurrido y secado de las vainas de malinche:** una vez que la vaina de malinche ha sido enjuagada se procede a escurirla y secarla al ambiente.
3. **Trituración y pesado de las vainas de malinche:** una vez que la vaina se a secado se procedió a triturarla usando un crisol y un mortero.
4. **Impregnación y pesado de la vainas de malinche:** la vaina triturada es impregnada con el agente activante (Hidróxido de sodio 0.5M). La relación de impregnación optima es de 1-1.5 (por cada unidad de masa de vaina triturada se utilizan 1.5 unidades de peso de sustancia activante). El tiempo de impregnación óptimo es de 10 minutos. Esto debe acompañarse con una agitación constante para procurar una impregnación homogénea.
5. **Carbonización:** después de haber sido impregnado con el agente químico se procede a introducir la vaina molida e impregnada de sustancia activante en el horno (secador de bandejas) durante un tiempo de carbonización de 30 minutos.

En esta etapa es importante tener control de la temperatura para evitar que se obtenga una gran cantidad de cenizas (temperaturas muy altas) o deficiente activación (temperatura muy baja);

La temperatura de carbonización fue de 250 °C.

6. **Lavado y recuperación de la sustancia activante:** después de haber extraído el carbón activado se procede a lavarlo con agua destilada para recuperar la sustancia activante.

4.2 Adsorción del carbón activado

La capacidad adsortiva se midió a partir de agua sintética, de dos concentraciones estándares de plomo de 100 ppb y 300 ppb con ayuda del estándar de plomo de 2000 ppb, seguidamente, de cada una de las concentraciones se prepararon 2 soluciones con PH de 3 y 9 respectivamente por la agregación de hidróxido de sodio 6 M en un beaker de 250 ml y luego se transfirió a un erlenmeyer agregando el carbón activado (1 g).

La muestra de agua se preparó en el laboratorio y el pH fue ajustado a lo establecido utilizando una solución alcalina. Posteriormente para los experimentos de adsorción en fase líquida se ejecutaron a una temperatura de 21-25 °C con agitación constante, utilizando un agitador tipo batch (Burrell Scientific).

La determinación de plomo se realizó por medio de espectrofotometría, con un espectrofotómetro ESPECTROQUANT NOVA 60, el cual puede detectar niveles de plomo desde 1 ppb hasta 600 ppb, contando con un patrón de plomo, como aseguramiento de la calidad de 1000 mg/L, a partir del cual se prepararan las distintas soluciones de plomo.

Cada una de las soluciones de 100 ppb y 300 ppb se sometieron por lapso de una y ocho horas en contacto con 1gr de carbón activado bajo agitación constante y temperatura ambiente, luego la muestra fue filtrada con papel filtro para retener el carbón, con la muestra filtrada se procedió a analizar la concentración final de plomo por medio del espectrómetro NOVA 60.

La parte experimental para determinar las isotermas de adsorción fueron:

1. Preparación de una serie de disoluciones de ácido acético con concentraciones conocidas a las que se añadieron carbón activado que se mantuvo en suspensión y sobre cuya superficie tendrá lugar el efecto de adsorción.
2. Una vez alcanzado el equilibrio de adsorción (dejar pasar un tiempo) se valoró las disoluciones de ácido acético con NAOH e indicador químico fenolftaleína.
3. Una vez conocida la concentración de ácido en equilibrio con el ácido adsorbido se calculo los moles de acético adsorbido por gramo de sustrato.
4. Finalmente, el tratamiento de los datos condujo a los parámetros de las isotermas.

Pasos que se ejecutaron en la valoración de adsorción del carbón activado:

Se realizó una valoración de 20 ml de ácido acético 0.5 M utilizando el NAOH 6.0 M como agente valorante. Los pasos ejecutados son:

- Lavado de la bureta con una pequeña porción de NAOH (aq).
- Pipeteado de 20 ml exactos de CH_3COOH y recogerlos en el matraz erlenmeyer de 100 ml. Añade cuatro gotas de indicador fenolftaleína.
- Preparada la muestra de carbón activo. Pesa, cuidadosamente seis muestras de 2.00 g de carbón activo y utilizando los matraces erlenmeyer numerados tápalos posteriormente. Se anota el peso exacto de cada muestra en la tabla de datos.

Utilizando probetas distintas, mide consecutivamente los volúmenes de ácido acético 0.5 M y agua destilada indicados en la siguiente tabla. Añade estas cantidades en los correspondientes matraces Erlenmeyer con carbón activado.

4.3 Porcentaje de remoción del plomo en función de pH a diferentes concentraciones.

Se prepararon a partir del agua sintética dos concentraciones estándares de plomo de 100 ppb y 300 ppb, con ayuda del estándar de plomo de 1000 ppm, seguidamente, de cada una de las concentraciones se prepararon dos soluciones con Ph de 3 y 9 respectivamente con la agregación de hidróxido de sodio o ácido sulfúrico.

Cada una de las soluciones de 100 ml se sometió por lapso de una y ocho horas, en contacto con 1gr de carbón activado bajo agitación constante y temperatura ambiente, luego la muestra fue filtrada para retener el carbón, con la muestra filtrada se procedió a analizar la concentración final del plomo por medio del espectrómetro NOVA 60, los resultados de estos análisis se muestran en tablas y gráficos correspondientes.

4.4 Procedimiento para ensayos de humedad y cenizas.

Antes de comenzar los ensayos hemos de reducir el tamaño de grano del carbón a analizar mediante el empleo de un mortero y diversos tamices. Para llevar a cabo todos estos ensayos previamente se han calcinado los crisoles en el horno. Luego se han dejado enfriar en un desecador y después ya se ha procedido a realizar los ensayos.

4.4.1 Determinación de humedad.

De entre las varias formas en que el agua se encuentra unida al carbón, podemos diferenciar dos, humedad originaria o agua superficial y humedad higroscópica. Este análisis permitirá determinar la composición bruta de agua del carbón que estamos analizando, así como las cargas de ceniza.

El contenido de agua higroscópica es una magnitud arbitraria dependiente del tamaño del material, de la temperatura a la que se realiza el ensayo y del grado de humedad del medio ambiente.

Para su determinación hará falta que el tamaño de grano sea inferior a 2 mm. Se toman dos crisoles, se etiquetan y se pesan. Se toma la muestra de carbón y se pesan en cada crisol unos 5g (empleando para ello una balanza analítica y se anota la cantidad exacta que se ha pesado. Introducimos los crisoles en una estufa a 105°C durante 45 minutos. Una vez pasado este tiempo se sacan los crisoles de la estufa, se dejan enfriar en el desecador y luego se pesan de nuevo empleando la balanza analítica, de acuerdo a la norma ASTM D2867-99.

El contenido de humedad contenida en la muestra y desecada al aire vendrá dada por:

$$\%humedad = \frac{[(a-b)] \times 100}{a} \quad (4.1)$$

Donde **a** corresponde al peso en gramo de la muestra seca y **b** al peso en gramos de la muestra húmeda.

4.4.2 Determinación de cenizas.

Se considera como *ceniza* al residuo de combustión que queda cuando la muestra se trata en una mufla eléctrica o de gas a una temperatura de 725°C.

Este ensayo permitirá obtener información sobre la cantidad de materias inorgánicas. Su determinación proporciona valores relativos que dependen de la temperatura de incineración. Los carbones activados comerciales de diversos orígenes contienen de un 3 a un 15% de cenizas.

Se pesa el crisol en la balanza analítica y luego se pesa 1 g de muestra desecada al aire y de tamaño de grano inferior a 0.2 mm. Se introduce en una mufla a 550°C, cuidando siempre que haya exceso de aire. Además hay que calentar hasta que no quede carbón, para ello mirar si hay restos negros, y remover cada poco tiempo las muestras con un trozo de alambre. Una vez que no queda carbón se saca el crisol de la mufla y se deja enfriar en un desecador y una vez frío se pesa y se calcula el porcentaje de acuerdo a la norma ASTM D2866-83 (determinación del contenido total de cenizas en carbón activado).

El contenido de cenizas vendrá dado por:

$$\%cenizas = \frac{(b \times 100)}{a} \quad (4.2)$$

Donde **a** es el peso de la muestra seca en gramos; y **b** el peso final en gramos.

5 Diseño experimental.

Muchos experimentos se llevan a cabo para estudiar los efectos producidos por dos o más factores. En general los diseños factoriales son los más eficientes para este tipo de experimentos, utilizado en ingeniería.

En esta investigación se realizara un diseño factorial de 2^k , se selecciona un número fijo de niveles (o versiones) para cada conjunto de variables (factores) y luego hace experimentos con todas las combinaciones posibles.

- **Variable Dependiente:** Capacidad adsortiva. (mg/l).
- **Variables independientes:** Concentración de plomo, pH y tiempo de contacto.
- **Niveles 2:** Máximos y Mínimo.

5.1 Determinación experimental.

Experimentos	Concentracion (ppm).	pH	Tiempo (hrs)
1	100	3	1
2	300	3	1
3	300	9	8
4	100	9	1
5	100	3	8
6	100	9	8
7	300	9	1
8	300	3	8

Tabla 6. Determinación experimental en la remoción de plomo.

6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

6.1 Determinación de las isothermas de adsorción de ácido acético para carbón activado de malinche.

En la tabla 5 se presentan los cálculos típicos para determinar la isoterma de adsorción del ácido acético lo cual es un indicativo del comportamiento del carbón activado.

Matraz #	unidades	1	2	3	4	5	6
Carbón	gr	2.00	2.002	2.001	2.00	2.00	2.00
Agua	ml	0	20	40	60	80	90
CH ₃ COOH	ml	100	80	60	40	20	10
[CH ₃ COOH] final.	mol/L	44	36	30	23	19	15

Tabla 7. Cálculos típicos en la determinación de las isothermas de adsorción.

El porcentaje de remoción se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\%remocion = \frac{(c_i - c_f)}{c_i} \times 100 \quad (6.1)$$

Donde:

C_i y C_f Concentración inicial y final del ácido acético (mg/l) respectivamente.

Para el cálculo de los milimoles ácido acético adsorbido por gramo de adsorbente, se completa la tabla 7.1.

ERLENMEYERS	Sln mmol/mL	MMOLES INICIALES	MMOLES FINALES	MILIMOLES ADSORBIDOS
1	17.4	174.0000	22.0000	152.0000
2	13.92	139.2000	18.0000	121.2000
3	10.44	104.4000	15.0000	89.4000
4	6.96	69.6000	11.5000	58.1000
5	3.48	34.8000	9.5000	25.3000
6	1.74	17.4000	7.5000	9.9000

Tabla 7.1 Milimoles adsorbidos de ácido acético.

Concentración en moles/L de ácido acético que esta en equilibrio con el carbón activado:

En el punto de equivalencia:

$$N_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}$$

La concentración de ácido acético en el Erlenmeyer será:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = \text{moles } (\text{CH}_3\text{COOH}) / V_{\text{sln.}}$$

Cálculos de los moles iniciales:

M = moles/L, si se despeja los moles quedarían, M*L.

Para el cálculo del porcentaje de remoción se calcula la siguiente tabla 5.2. Porcentaje de remoción.

ERLENMEYER	$N_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{NaOH}} \cdot V_{\text{NaOH}}$	V_{sln}	$[\text{CH}_3\text{COOH}]$ FINALES	$[\text{CH}_3\text{COOH}]$ INICIAL.	porcentaje de remoción
1	22	54	0.4074	17.4000	87.3563
2	18	46	0.3913	13.9200	87.0690
3	15	40	0.3750	10.4400	85.6322
4	11.5	33	0.3485	6.9600	83.4770
5	9.5	29	0.3276	3.4800	72.7011
6	7.5	25	0.3000	1.7400	56.8966

Tabla 7.2 Porcentaje de remoción de ácido acético.

La Tabla 7.3 se utilizó para calcular la forma logarítmica de la ecuación de Freundlich.

ERLENMEYERS	C/X	GRAMOS DE CARBON	LOG(x/m)	LOG C (mmol/L)
1	76.0000	2.0000	4.8808	2.5918
2	60.5697	2.0010	4.7823	2.5897
3	44.6553	2.0020	4.6499	2.5856
4	29.0500	2.0000	4.4631	2.5781
5	12.6185	2.0050	4.1010	2.5548
6	4.9475	2.0010	3.6944	2.5041

Tabla 7.3 Forma logarítmica de la ecuación de Freundlich.

Con los datos obtenidos de la tabla 7.3 se grafica Log C vr. Log (x/m) obteniéndose una grafica que se ajusto mucho a una línea recta cuya pendiente positiva es igual a 1/n que es una constante, la isoterma que se utilizo es la ecuación de Freundlich linealizada que muestra en la Figura 5 la cual es útil para predecir el comportamiento del carbón activado en la mayoría de las aplicaciones en fase liquido, evidenciando que a medida que aumenta la concentración del ácido acético en la solución aumenta la cantidad o el volumen de la base titulante.

Para el cálculo de los coeficientes de la ecuación de Freundlich k y n basta igualar los coeficientes de la ecuación de regresión (1) con la ecuación (2.3), con lo que se obtiene un n= 13.88, k= 31.22, el valor de n mayor que uno es un indicativo de la buena adsorividad del carbón activado obtenido a partir de la vaina del malinche.

$$\log q = \frac{1}{n} \log C + \log K_f \quad (2.3)$$

Ecuación de regresión: $y = 0.072 x + 2.2483$ (1)

Log k = 2.2483 $1/n = 0.072$

$K = 10^{2.2483} = 31.2263$ $n = 13.88$ $R^2 = 0.93$

Isotermas de adsorción.

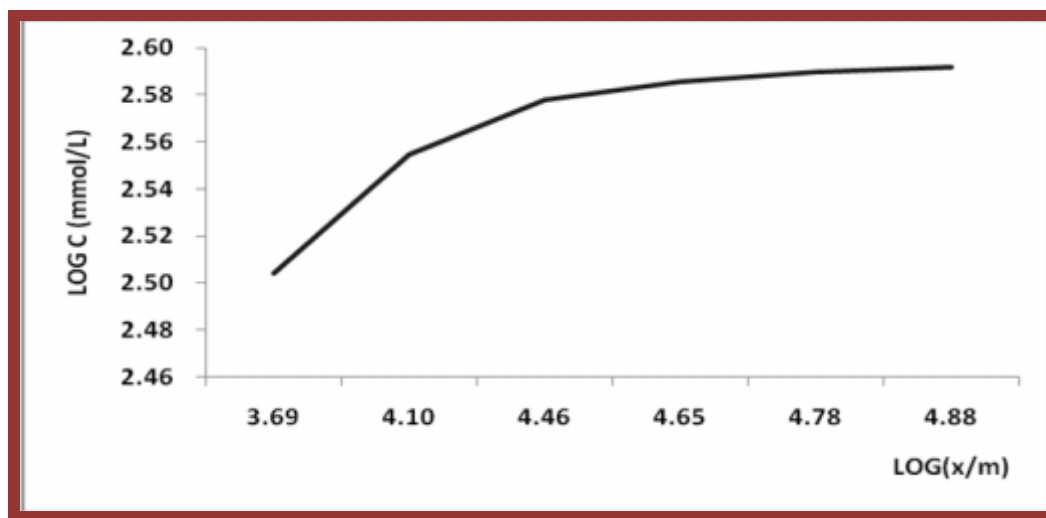


Figura 10. Isoterma de adsorción para el carbón a partir de la vaina de malinche.

En la figura 10 se muestra la isoterma de adsorción del carbón activado para la retención de ácido acético donde se obtiene un $R^2=0.9333$, que es el coeficiente de determinación de la muestra, el cual indica que los efectos en el modelo están explicando el 93.33 % de la variable dependiente (capacidad adsorativa) donde se obtiene una buena calidad de ajustes, lo que indica el carbón activado a partir de la vaina de malinche absorbe sustancias solubles en el agua (plomo).

6.2 Determinación de las isothermas de adsorción de ácido acético para el carbón industrial.

En la tabla 7.4 se realizan los cálculos para determinar la concentración final.

Matraz #	1	2	3	4	5	6
Carbón (g)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Agua (ml)	0.00	20.00	40.00	60.00	80.00	90.00
CH ₃ COOH (ml)	100.00	80.00	60.00	40.00	20.00	10.00
[CH ₃ COOH] final	105.00	85.00	79.00	61.00	53.00	39.50

Tabla 7.4 Cálculos Típicos en la determinación de las isothermas para carbón industrial.

Cálculo del número de moles de ácido acético adsorbido por gramo de adsorbente:

Para erlenmeyer n° 1.

C/x = moles adsorbidos / gr. de carbón activado.

La concentración de ácido acético en el Erlenmeyer es:

$[CH_3COOH] = \text{moles } CH_3COOH / V_{\text{soln.}}$

Cálculos de los moles finales:

$M = \text{moles/L}$, si se despeja los moles quedarían, $M \cdot L$.

En la tabla 7.5 se realizarán los cálculos de los milimoles adsorbidos.

ERLENMEYERS	Sln mmol/mL	MMOLES INICIALES	MMOLES FINALES	MILIMOLES ADSORBIDOS
1	17.40	174.00	43.00	132.00
2	13.92	139.20	34.00	105.20
3	10.44	104.40	31.60	72.80
4	6.96	69.60	24.40	45.20
5	3.48	34.80	21.20	13.60
6	1.74	17.40	15.80	1.60

TABLA 7.5 Milimoles adsorbidos de ácido acético.

Concentración (c) en moles/L de ácido acético que está en equilibrio con el carbón vegetal:

En el punto de equivalencia:

$$N_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{NaOH}} * V_{\text{NaOH}}$$

En la tabla 7.6 se muestra el porcentaje de remoción del carbón industrial.

ERLENMEYER	$N_{\text{CH}_3\text{COOH}} = n_{\text{NaOH}} * V_{\text{NaOH}}$	V_{sln}	$[\text{CH}_3\text{COOH}]$ = moles $\text{CH}_3\text{COOH} / V_{\text{sln}}$	$[\text{CH}_3\text{COOH}]$ INICIAL	porcentaje de remoción
1	42.00	115.00	0.36	17.40	75.28
2	36.80	95.00	0.35	13.92	75.57
3	33.20	89.00	0.35	10.44	69.73
4	24.40	71.00	0.34	6.96	69.94
5	23.20	63.00	0.33	3.48	39.08
6	18.80	49.50	0.31	1.74	9.19

Tabla 7.6. Porcentaje de remoción del ácido acético en el carbón industrial.

En la siguiente Tabla 7.7 se muestran la forma logarítmica de la ecuación de Freundlich la cual se grafica para obtener la isoterma de adsorción (fig. 11).

ERLENMEYERS	C/X	GRAMOS DE CARBON	LOG(x/m)	LOG C (mmol/L)
1	65.6716	2.01	4.8174	4.2405
2	52.6000	2.00	4.7210	4.1436
3	36.4000	2.00	4.5611	4.0187
4	22.6000	2.00	4.3541	3.8426
5	6.6341	2.05	3.8218	3.5416
6	0.8000	2.00	2.9031	3.2405

Tabla 7.7 Forma logarítmica de la ecuación de Freundlich.

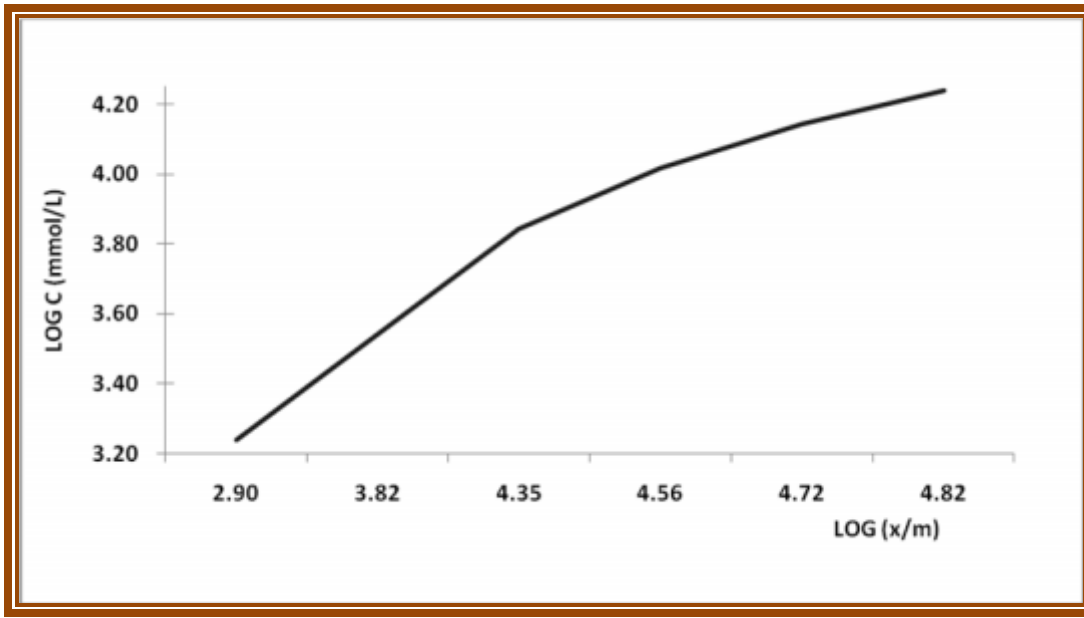


Figura 11. Isotherma de adsorción para el carbón industrial.

En la figura 11 se muestra la isoterma de adsorción del plomo a partir del carbón industrial en donde se obtiene un $R^2=0.9599$ lo cual que indica que los efectos en el modelo están explicando el 96 % resultando una mejor calidad de ajustes donde también indica que el carbón activado industrial absorbe sustancias solubles en el agua (plomo).

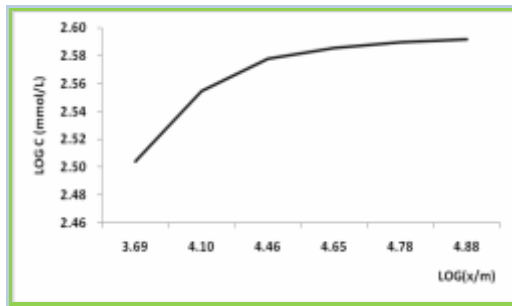


Fig. 10

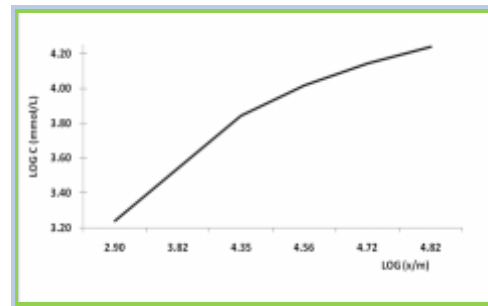


Fig. 11

Como puede observarse en las ecuaciones de las isoterma de adsorción los carbones activados a partir de la vaina de malinche (Fig. 10) y el carbón industrial (Fig. 11) tienen una diferencia de aproximadamente un 2.64 % notando que no hay mucha relevancia para ambos carbones en la remoción de plomo.

6.3 Remoción de plomo en función de pH a diferentes concentraciones.

6.3.1 Concentración de 100 ppb a una hora de contacto.

En la tabla 7.8 se presenta el porcentaje de remoción del plomo que se obtuvo de una concentración inicial de plomo de 100 ppb a diferentes pH (3,9) y con un tiempo de contacto de una hora entre el carbón activado a partir de la vaina de malinche y la concentración inicial.

Experimentos	Ph	C inicial de Pb (100 ppb)	Volumen final de Pb (ml)	C final de Pb (100 ppb)	% de remoción de Pb (100 ppb)
1	3.04	100	106	40	60
2	9.02	100	105	31	69

Tabla 7.8. Porcentajes de remoción para una concentración de 100 ppb y una hora de contacto.

En la tabla 7.8 se presenta el porcentaje de remoción del plomo que se obtuvo de una concentración inicial de plomo de 300 ppb a diferentes pH (3,9) y con un tiempo de contacto de una hora entre el carbón activado a partir de la vaina de malinche y la concentración inicial.

6.3.2 Concentración de 300 ppb a una hora de contacto.

Experimentos	Ph de la muestra	Concentración inicial de Pb (300 ppb)	Volumen final de Pb (ml)	Concentración final de Pb (300 ppb)	% de Cantidad removida de Pb (300 ppb)
1	3.00	300	315	95	68
2	9.00	300	313	80	73

Tabla 7.9 Porcentajes de remoción para una concentración de 300 ppb y una hora de contacto.

En las tablas anteriores 7.8 y 7.9 se observó que a medida que se aumenta la concentración de plomo así mismo aumenta el porcentaje de remoción de plomo en tiempos iguales de una hora.

En la tabla 7.10 se presenta el porcentaje de remoción del plomo que se obtuvo de una concentración inicial de plomo de 100 ppb a diferentes pH (3-9) y con un tiempo de contacto de ocho horas entre el carbón activado a partir de la vaina de malinche y la concentración inicial.

6.3.3 Concentración de 100 ppb a ocho horas de contacto.

Experimentos	Ph de la muestra	Concentración inicial de Pb (100 ppb)	Volumen final de Pb (ml)	Concentración final de Pb (100 ppb)	% de Cantidad removida de Pb (100 ppb)
1	3.00	100	107	45	55
2	9	100	108	33	67

Tabla 7.10 Porcentaje de remoción para concentración 100 ppb y 8 horas de contacto.

En la tabla 7.11 se presenta el porcentaje de remoción del plomo que se obtuvo de una concentración inicial de plomo de 300 ppb a diferentes pH (3-9) y con un tiempo de contacto de ocho horas entre el carbón activado a partir de la vaina de malinche y la concentración inicial.

6.3.4 Concentración de 300 ppb a ocho horas de contacto.

Experimentos	Ph de la muestra	Concentración inicial de Pb (300 ppb)	Volumen final de Pb (ml)	Concentración final de Pb (300 ppb)	% de Cantidad removida de Pb (300 ppb)
1	3	300	317	102	66
2	9	300	315	87	71

Tabla 7.11 Porcentaje de remoción para concentración de 300 ppb y 8 horas de contacto.

Para obtener la cantidad removida de plomo a diferentes concentraciones en las tablas anteriores (7.10 - 7.11) se utilizó un espectrofotómetro que ayudo a saber la concentración de la disolución por medio absorbancia y que permitió la comparación entre la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia.

En la Tabla 7.12 se presenta un resumen de las variables y el porcentaje de remoción.

Block	pH	Tiempo de contacto (horas).	Conc de plomo (ppm).	% de remoción
1	3	8	300	66
1	3	1	300	68
1	9	8	100	67
1	3	8	100	55
1	9	1	100	69
1	9	1	300	73
1	3	1	100	60
1	9	8	300	71

Tabla 7.12 Presentación de variables y porcentaje de remoción.

Con la finalidad de determinar las diferencias significativas en las variaciones de pH, concentración de plomo y el tiempo como las correlaciones entre ellas se realizó un análisis de varianza. Los resultados se muestran en la tabla 7.13.

6.3.5 Analisis de la tabla ANOVA.

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Estadístico F	Valor critico
A:pH	120.125	1	106.78	0.0614
B:tiempo	15.125	1	13.44	0.1695
C:Conc de plomo	91.125	1	81.00	0.0704
AB	1.125	1	1.00	0.5000
AC	15.125	1	13.44	0.1695
BC	1.125	1	1.00	0.5000
Total error	1.125	1		
Total (corregido.)	244.875	7		

Tabla 7.13 Resultados del ANOVA para las variables independiente.

R ²	99.5406 %
R ² (ajustado)	96.7841 %
Error estándar de estimación	1.06066
Error absoluto	0.375

Tabla 7.14 Resumen del diseño experimental.

El estadístico R^2 indica que el modelo explica el 99.5406% de la variabilidad en porcentaje de remoción, es el más satisfactorio para comparar modelos con diferentes números de variables independientes, el R^2 ajustado dio como resultado el 96.7841%, lo que indica que es un buen modelo para explicar el comportamiento de las variables independiente, el error estándar de la estimación, muestra la desviación estándar del residual, 1.06066, el error absoluto de la media (MAE) es 0.375 es el valor medio del residuo.

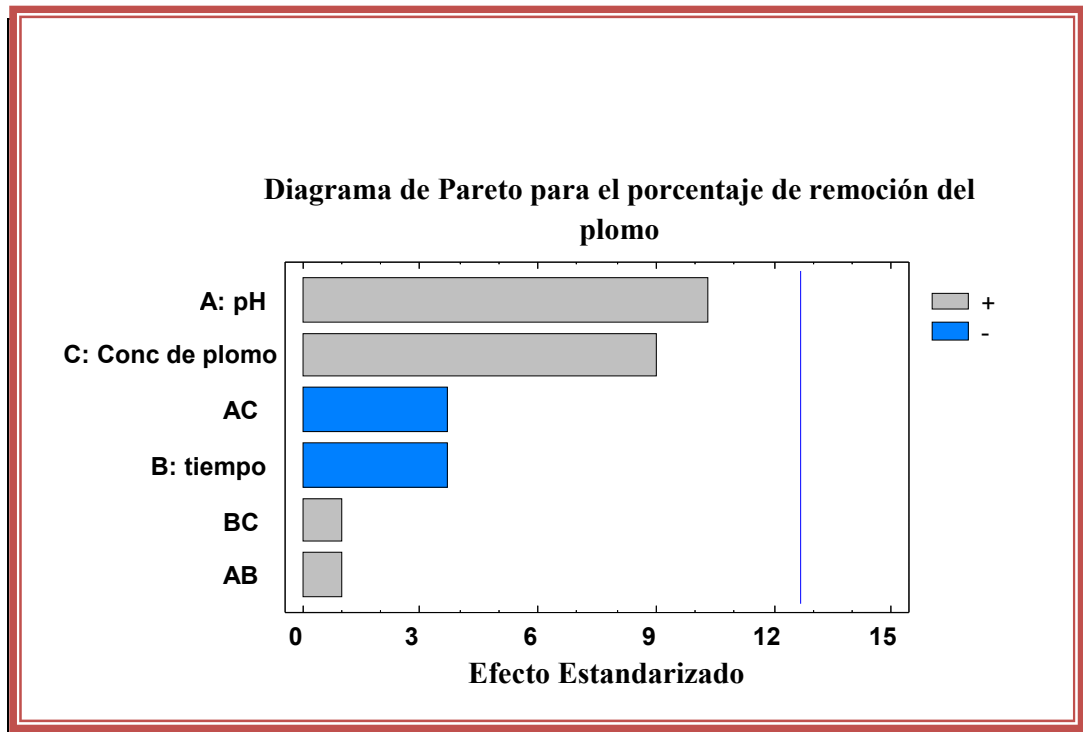


Figura 12. Diagrama de pareto para el porcentaje de remoción.

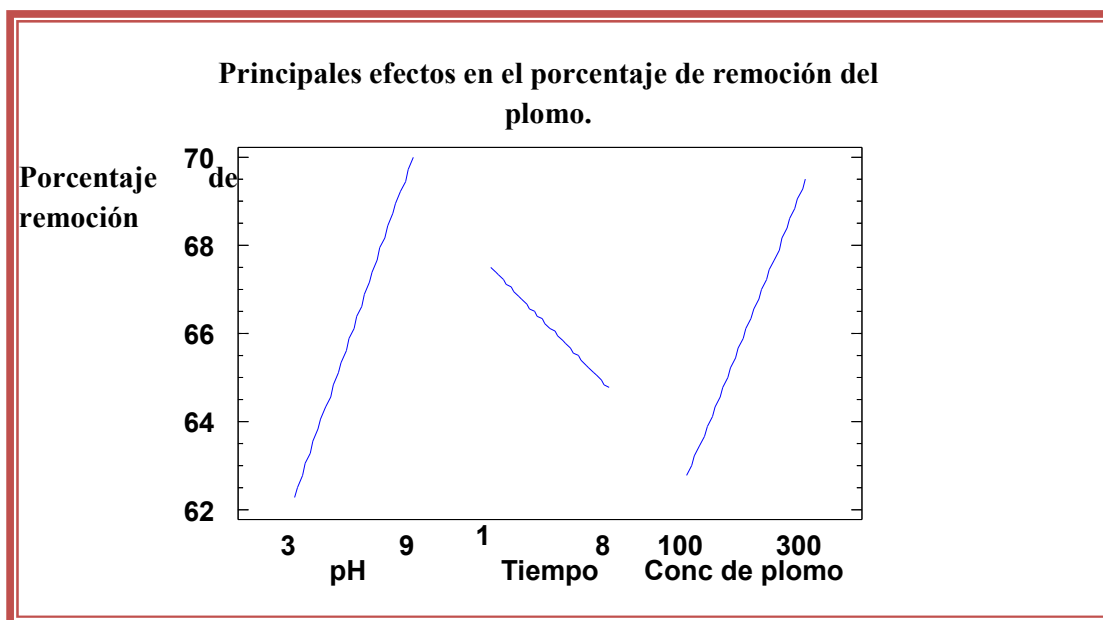


Figura 13. Adsorción de plomo en función del pH, tiempo y concentración.

En la figura 13 se observa el porcentaje de remoción del plomo a partir de las variables independientes tales como el pH, tiempo y concentración de plomo, dando como resultado que a mayor pH la remoción de plomo aumenta de un 60 % a un 73 % en un tiempo de contacto de una hora y a mayor concentración el porcentaje de remoción aumenta entre un 55 % a 71 % en un tiempo de contacto de ocho horas.

El tiempo de contacto implicó una leve variación dando como resultado un tiempo óptimo en la remoción de plomo a partir de carbón activado de la vaina de malinche de 1 hora.

A medida que se aumenta la concentración de plomo también se aumenta el porcentaje de remoción, donde el porcentaje de remoción máximo se obtiene con un tiempo de contacto de una hora.

El pH juega un papel importante observando que a medida que aumenta el pH así mismo aumentará el porcentaje de retención de plomo, debido a que en un pH moderadamente alto hay más movilidad de los cationes por lo que tiende a adsorber mejor en este caso al plomo.

5.3.6 Determinación de humedad y cenizas totales.

Ensayo de humedad.

CRISOL	Peso vacío (g)	a (g)	Peso Final (g)	b (g)	a-b (g)
1	29.89	4.9601	34.74	4.7375	0.2226

Tabla 7.15 Porcentaje de humedad del carbón activado.

Crisol 1.

$$\% \text{ Humedad} = [0.2226(\text{g}) * 100] / 4.9601(\text{g}) = 4.4878\%.$$

$$\% \text{ Humedad} = 4.49\%.$$

Ensayo de Cenizas.

Crisol 1.

CRISOL	Peso vacío (g)	a (g)	Peso Final (g)	b (g)
1	29.43	1.0025	30.4325	0.9578

Tabla 7.16 Porcentaje de cenizas del carbón activado.

$$\% \text{ Cenizas} = [0.0447(\text{g}) * 100] / 1.0025(\text{g}) = 4.4585\%.$$

$$\% \text{ Cenizas} = 4.45\%.$$

En las tablas 7.15 y 7.16 se muestra los ensayos de humedad y cenizas obtenidos en el laboratorio, en el que resultó un porcentaje de humedad del 4.49 % lo que indica una buena calidad del carbón, así mismo el porcentaje de cenizas con 4.45 %, estos valores andan entre el rango de los valores de carbones activados comerciales.

El residuo inorgánico (cenizas) queda tras eliminar los compuestos orgánicos existentes de la muestra, hay que tener en cuenta que no se encuentran los mismos elementos que en la muestra intacta, ya que hay pérdidas por la volatilización. Tanto el porcentaje de cenizas como el de humedad llegan a concretar parte de la calidad de cualquier carbón activado.

7. CONCLUSIONES.

- El carbón obtenido a partir de la vaina de malinche es un material viable para la elaboración del carbón activado por método químico para una remoción eficiente de plomo.
- Se compararon las isotermas de adsorción del carbón activado a partir de la vaina de malinche con carbón activado industrial demostrando que tiene una diferencia del 2.64% para el porcentaje de remoción del plomo.
- La adsorción de plomo fue influenciada principalmente por factores tales como el pH de la solución y la concentración, la remoción fue máxima en un rango de pH entre 3 y 9, y estuvo en dependencia del grado de concentración de este en la solución de tal modo que a las distintas concentraciones de 100 y 300 ppm a un pH 3 la remoción fue desde 60 % hasta 68 % y a Ph 9 la remoción fue desde 69 % hasta 73 % respectivamente.
- El tiempo de contacto de 1 hora demostró ser el de más eficiencia en la remoción del plomo, a mayor tiempo tuvo un efecto no significativo en la remoción.
- El porcentaje de humedad y porcentaje de cenizas fueron de 4.49 % y 4.45 % respectivamente dando valores aproximados a los de carbones comerciales.

8. RECOMENDACIONES.

- Evaluar la capacidad de adsorción de plomo en aguas residuales con carbón activado obtenido a partir de la vaina de malinche por medio de columnas de adsorción.
- Evaluar la capacidad adsorptiva del carbón activado obtenido a partir de la vaina de malinche con otro tipo de metal pesado en agua sintética como residual.
- Determinar las isothermas de adsorción con distinto titulante e igual concentración evaluando su comportamiento.

9. Glosario.

Adsorbato.

Son aquellas sustancias adsorbidas por un carbón activado o por otro material adsorbente.

Adsorbente.

Material, como el carbón activado en el que se verifica el fenómeno de la adsorción.

Adsorción.

Adhesión de un finísimo estrato de molecular, líquidas o gaseosas a la superficie de sólidos (por ejemplo, carbón activado) con los que aquellas entran en contacto.

Área Superficial.

Es la cantidad de superficie referida al conjunto de los poros del carbón.

Carbón activado.

Carbón que ha sido “activado” a alta temperatura mediante calentamiento por vapor de agua y anhídrido carbónico o agentes deshidratantes, lo que da lugar a una estructura porosa interna enormemente desarrollada.

Cenizas.

Contenido mineral del carbón activado. Se definen normalmente en % del peso de la muestra calcinada con respecto a la muestra que se examina.

Crisoles.

Son recipientes de fondo plano utilizados para trabajar a altas temperaturas como es el caso de la determinación de cenizas y la calcinación de precipitados. Los más usados son de porcelana, se emplean para pesar sólidos.

Isotermas de adsorción.

Es la medida de la capacidad de adsorción en función de la concentración de la sustancia adsorbida a una temperatura preestablecida.

Macroporos.

Se llaman así a los poros contenidos en el carbón activado cuyo diámetro sea superior a los 500 Angstroms

Mesoporos.

Poros contenidos en el carbón activado cuyo diámetro queda comprendido entre los 500 y los 30 Angstroms.

Microporos.

Poros contenidos en el carbón activado cuyo diámetro sea inferior a 30 Angstroms.

Mufla.

Es un equipo de calentamiento eléctrico que puede alcanzar temperaturas de 1200 C. Se emplea en técnicas analíticas que involucran procesos de calcinación o incineración

10. Bibliografía.

1. **ASTM D2866-94** (1999) Standard Test Method for Total Ash Content of Activated Carbon.
2. **ASTM D2867-99** (1999) Standard Test Method for Moisture of Activated Carbon.
3. **Castellan, G.** (1998). "Fisicoquímica". Segunda edición, México. Editorial Addison-Wesley Iberoamericana. 452-458. México D.F
4. **F. Marcos Martín** El carbón vegetal propiedades y Obtención. editorial: Agroguías mundi-prensa.
5. **F. Rodríguez-Reinoso**, M. Molina-Sabio and M.A. Muñecas, J. Phys. Chem, 96, 2707 (1992).
6. **Gutiérrez Pulido H.; De la vara Salazar R.** (2003) Análisis y diseño de experimentos. Editorial Mc Graw Hill, México.
7. **Hidalgo S. Martínez M.** (2004). Reutilización de residuos de raspo de uva para la eliminación de metales tóxicos en los efluentes líquidos. Ingeniero Químico. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Química.
8. **HU, H.** (2002). Human health and heavy metals exposure. The Environment and Human Health.
9. **H. Marsh**, in "Introduction to Carbon Science". (1989). H. Marsh, Ed., 1, Butterworth, London.
10. **HAWLEY.** "Diccionario de Química y productos químicos" Ed. Omega, 2ª ed. pp. 194, 490, 880.
11. **Levine, I.** (1996). "Fisicoquímica". Cuarta edición. Vol. 1. Editorial Mc Graw Hill. 393-398. Madrid, España.
12. **Maron S. Prutton, C.** (1968). "Fundamentos de fisicoquímica". Primera edición. México D.F., México. Editorial Limusa. 822-830.
13. **Mendieta Eduar Enock.** (2008). "Estudio de la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de la semilla de nancite para la remoción de arsénico en aguas de pozos con alto contenido de arsénico". Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Nicaragua.
14. **Perry, R.; Green, D.; Maloney, J.** (1992). "Manual del Ingeniero Químico". Sexta Edición., México. Editorial Mc Graw Hill. 148-151. México D.F
15. **Reinoso.** (August 2006) Activated carbón. ISBN: 0080444636. Pub. Publisher: Elsevier Science & Technology Books.

16. **Taylor & Francis.** (2005). Activated carbón adsorption. ISBN 0-8247-5344-5. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742.
17. **Treybal, R.** (1996). “Operaciones de transferencia de masas”, México. Editorial McGraw Hill. 628-711. (73). México D.F
16. **Vergara Yayon Francisco** (1984) “Tratamiento de Aguas Industriales”, Kavin Editores S.A., Lima Perú.

Sitios web utilizados.

1. www.bvsde.per.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomol/cuatro.pdf.
2. www.femisca.org/publicaciones/XIIIcongreso/XIIICNIS054.pdf.
3. www.uclm.es/profesorado/jvillasenor/esp/pdar/jartest.pdf
4. www.laprensa.com.ni/fotos/contaminaciondellago.
5. http://www.cienytec.com/lab2agitadores_promo.htm.
6. <http://www.textoscientificos.com/quimica/carbon-activo/adsorbatos>.
7. <http://impreso.elnuevodiario.com.ni/2007/08/20/nacionales/56725>
8. http://www.quiminet.com/ar7/ar_vcdvcdadvchgsA-el-uso-de-carbon-activado-en-purificadores-de-tratamiento-de-agua-para-embotelladoras-y-agua-potable.htm
9. <http://www.lenntech.es/plomo-y-agua.htm#ixzz0uFqYIFlb>
10. http://www.unioviedo.es/QFAnalitica/trans/ExpquimDimas/PRACT_12_Adsorcion.pdf.

ANEXOS

ANEXOS.

11. CALCULOS TIPICOS DE LOS REACTIVOS UTILIZADOS.

11.1 Preparación de reactivos.

11.1.1 Solución de Hidróxido de sodio 0.5 M.

$$[NAOH] = \frac{n_{NAOH}}{V_{sln}}$$

Donde $V_{sln} = 1$ L, despejando n NaOH.

$$n_{NAOH} = [NaOH] * V_{sln} = 0.5 \text{ mol/ L} * 1 \text{ L} = 0.5 \text{ mol. Entonces,}$$

$$m_{NAOH} = n \text{ NaOH} * P_m \text{ NaOH} = 0.5 \text{ mol} * 39.996 \text{ gr/ mol} = 19.998 \sim 20 \text{ gr.}$$

Esto significa que para obtener una solución de hidróxido de sodio al 4 % es diluir 20 gr del mismo en un litro de agua destilada.

i. Solución de Acido Acético 0.5 M.

$$n_{CH_3COOH} = C_{CH_3COOH} \times V_{CH_3COOH}$$

$n = \#$ de moles

$$0.5 \text{ mol/lit} * 1 \text{ lit} = 0.5 \text{ moles}$$

$C =$ concentración del acido acético

$$m_{CH_3COOH} = 0.5 \text{ mol} * 60 \text{ gr/ mol}$$

$V =$ volumen de acido acético.

$$m_{CH_3COOH} = \mathbf{30 \text{ gr.}}$$

ii. Solución de Hidroxido de sodio 6M.

$$[NAOH] = \frac{n_{NAOH}}{V_{sln}}$$

Donde $V_{sln} = 1$ L, despejando n NaOH.

$$n_{NAOH} = [NaOH] * V_{sln} = 6 \text{ mol/ L} * 1 \text{ L} = 6 \text{ mol. Entonces,}$$

$$m_{NAOH} = n \text{ NaOH} * P_m \text{ NaOH} = 6 \text{ mol} * 39.996 \text{ gr/ mol} = 239.976 \sim 240 \text{ gr.}$$

11.1.4 Solución del estándar de plomo a 100 ppb.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = Concentración inicial de la muestra del estándar de plomo = 100 ppb

V_1 = Volumen inicial de la muestra del estándar de plomo = 500 ml

C_2 = Concentración del estándar de plomo = 1000 ppb

V_2 = Volumen del estándar de plomo.

$$V_2 = \frac{C_1V_1}{C_2} = \frac{500 \times 100}{1000} = 50 \text{ ml.}$$

50 ml se tiene que agregar del estándar de plomo de 1000 ppb para obtener 500 ml a 100 ppb para la muestra de prueba (utilizada).

11.1.5 Solución del estándar de plomo a 300 ppb.

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

C_1 = Concentración inicial de la muestra del estándar de plomo = 300 ppb

V_1 = Volumen inicial de la muestra del estándar de plomo = 500 ml

C_2 = Concentración del estándar de plomo = 1000 ppb

V_2 = Volumen del estándar de plomo.

$$V_2 = \frac{C_1V_1}{C_2} = \frac{500 \times 300}{1000} = 150 \text{ ml.}$$

150 ml se tiene que agregar del estándar de plomo de 1000 ppb para obtener 500 ml a 300 ppb para la muestra de prueba (utilizada).

11.2 CALCULOS TIPICOS PARA LA DETERMINACION DE LA ISOTERMAS DE ADSORCION.

Para el Erlenmeyer #1.

Concentración (c) en moles /L de ácido acético que esta en equilibrio con el carbón vegetal:

En el punto de equivalencia:

$$n_{CH_3COOH} = n_{NaOH} = [NaOH] \times V_{NaOH}$$

Para [NaOH]=0.5 M y volumen gastado de la base igual a 44 mL

$$n_{CH_3COOH} = 0.5 \text{ mol/L} \times 44 \text{ mL} = 22 \text{ mol.}$$

$$n_{CH_3COOH} = 22 \text{ mol.}$$

La concentración de ácido acético en el Erlenmeyer #1 será:

100 ml es la alícuota que se tomo de acido acético puro.

$$\text{Moles iniciales} = (100 \text{ mL} \times 17.4 \text{ mol/L}) / 100 = 17.4 \text{ mol}$$

$$[CH_3COOH] \text{ inicial} = 17.4 \text{ mol}$$

$$[CH_3COOH] \text{ final} = \text{moles } CH_3COOH / V_{\text{soln}}$$

$$= 22 \text{ mol} / 54 \text{ mL} = 0.4074 \text{ mol/mL}$$

El volumen de la solución total es 44 mL+10mL= 54 mL.

10 mL es la alícuota que se tomo de NaOH.

Cálculos de los milimoles:

$$\text{moles} = M \times V$$

$$\text{Moles iniciales} = 17.4 \text{ moles/mL} \times 10 \text{ mL} = 174 \text{ moles.}$$

$$\text{Moles finales} = 0.5 \text{ mol/L} \times 44 \text{ mL} = 22 \text{ mol.}$$

$$\text{Milimoles adsorbidos} = 174 \text{ mL} - 22 \text{ mL} = 152 \text{ mL.}$$

C/x= milimoles adsorbidos/ gr de carbón.

$$152 \text{ mL} / 2 \text{ gr} = 76 \text{ mL/gr.}$$

$$\text{Porcentaje de remoción} = (\text{milimoles iniciales} - \text{milimoles finales} / \text{milimoles iniciales}) \times 100\% =$$

$$87.35\%.$$

Para el cálculo en el Erlenmeyer #2.

Solución diluida 80 ml de ácido acético +20 ml de agua destilada=100 ml de la solución total.

Se toman los 80 ml de ácido acético para calcular los moles iniciales.

Moles iniciales= $(80 \times 17.4)/100=13.92$ mol.

De esta manera se obtienen los resultados para los otros experimentos y para la obtención de la isoterma de los carbones.

11.3 Algunos Reactivos y Equipos utilizados en la adsorción de plomo a partir de la vaina de Malinche.



Hidroxido de Sodio.



Balanza Analítica



Estándar de plomo de 2000 ppb.



Calentador y agitador Magnético.



Mufla fumace 6000.



Filtro al vacio.



pHmetro.



Quitasato.



Balones Volumétricos.



Mortero.



ANOVA 60 Espectrofotómetro.

Figura 14. Algunos instrumentos y equipos utilizados para la remoción del plomo.

11.4 Contaminación del lago de Managua.



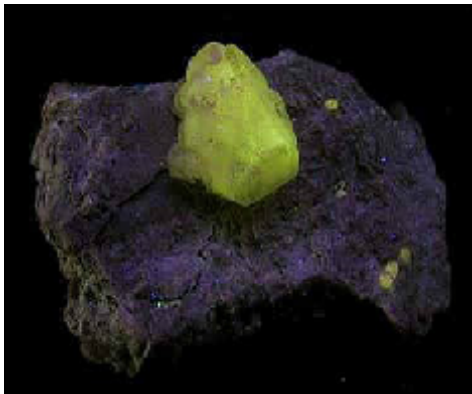
Figura 15. Contaminacion del lago de Managua.

11.5 Minerales de Plomo.

Anglesitas.



Cerusitas.



Esfalerita.



Galena.

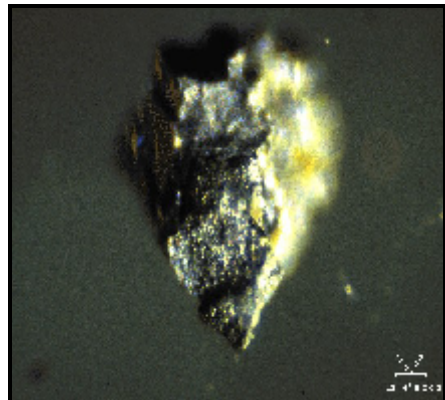


Figura 16. Tipos de minerales de plomo.